



TUGAS AKHIR TF141581

**ANALISA PENGARUH GEOMETRI KANAL
TERHADAP KINERJA TURBIN VERTIKAL
AKSIS JENIS DARRIEUS STRAIGHT BLADED
BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID
DYNAMICS***

ELFAYASA PRIKAFAIS
NRP. 2411 100 083

Dosen Pembimbing
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT TF141581

**ANALYSIS OF CHANNEL GEOMETRY
EFFECTS ON THE PERFORMANCE OF
DARRIEUS STRAIGHT BLADED VERTICAL
AXIS TURBINE BASED ON
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**

ELFAYASA PRIKAFAIS
NRP. 2411 100 083

Supervisor
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH GEOMETRI KANAL TERHADAP KINERJA TURBIN VERTIKAL AKSIS JENIS DARRIEUS STRAIGHT BLADED BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

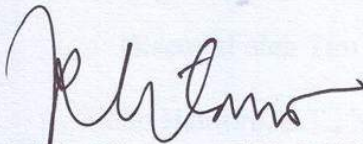
TUGAS AKHIR

Oleh :

ELFAYASA PRIKAFAIS
NRP. 2411 100 083

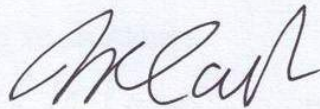
Surabaya, 10 Juli 2015
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I



Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
NIP. 19761223 200501 1 001

Pembimbing II



Nur Laila Hamidah, S.T., MSc.

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS



Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA.
NIP. 19650309 199002 1 001

**ANALISA PENGARUH GEOMETRI KANAL TERHADAP
KINERJA TURBIN VERTIKAL AKSIS JENIS DARRIEUS
STRAIGHT BLADED BERBASIS *COMPUTATIONAL
FLUID DYNAMICS***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

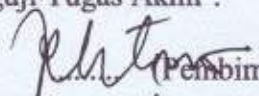



Bidang Studi Rekayasa Energi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ELFAYASA PRIKAFAIS

NRP. 2411 100 083

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.  (Pembimbing I)
2. Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.  (Pembimbing II)
3. Ir. Harsono Hadi, M.Sc., PhD.  (Penguji I)
4. Ir. Rockmono, M.T.  (Penguji II)

**SURABAYA
JULI 2015**

ANALISA PENGARUH GEOMETRI KANAL TERHADAP KINERJA TURBIN VERTIKAL AKSIS JENIS DARRIEUS STRAIGHT BLADED BERBASIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*

Nama Mahasiswa : Elfayasa Prikafais
NRP : 2411 100 083
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

Abstrak

Kinerja turbin vertikal aksis jenis Darrieus Straight Bladed mampu ditingkatkan dengan cara menambah kecepatan aliran yang mengenai turbin atau memperluas daerah sapuan turbin yang terkena aliran. Aliran pada kanal pada umumnya mempunyai kecepatan yang rendah sehingga daya yang dihasilkan rendah. Salah satu cara yang untuk mengatasi hal tersebut adalah penggunaan model diffuser pada kanal. Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk menganalisa pengaruh penggunaan diffuser kanal terhadap profil aliran dan kinerja turbin. Simulasi dilakukan pada empat jenis diffuser yaitu model I, II, III dan IV dengan variasi jarak peletakan turbin dengan pusat diffuser 60 cm, 70 cm dan 80 cm serta variasi kecepatan aliran 0.5 m/s, 0.8 m/s dan 1.1 m/s. Diffuser model I meningkatkan kecepatan aliran tertinggi hingga 2.3 kali, model II hingga 2.1 kali, model III hingga 1.93 kali, model IV hingga 1.76 kali. Peningkatan torsi tertinggi didapatkan pada diffuser model IV dengan variasi peletakan jarak turbin dengan pusat diffuser 60 cm. Peningkatan torsi pada kecepatan aliran 0.5 m/s sebesar 33.37%, pada kecepatan aliran 0.8 m/s sebesar 50.56%, pada kecepatan aliran 1.1 sebesar 57.95%. Diffuser model IV pada variasi jarak peletakan turbin dengan pusat diffuser 60 cm meningkatkan torsi tertinggi karena peningkatan kecepatan aliran yang mengenai blade dan shaft lebih merata.

Kata kunci: kanal, diffuser, Darrieus Staright Bladed, CFD

ANALYSIS OF CHANNEL GEOMETRY EFFECTS ON THE PERFORMANCE OF DARRIEUS STRAIGHT BLADED VERTICAL AXIS TURBINE BASED ON COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

Name : Elfayasa Prikafais
NRP : 2411 100 083
Department : Teknik Fisika FTI-ITS
Supervisor : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.
Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc.

Abstract

Performance of Darrieus Straight Bladed vertical axis turbine can be improved by increasing the flow velocity and swept area of the turbine. Commonly, the flow in a channel has low velocity, so it's produces low power. One of the method to solve the problem is using diffuser model in a channel. This research conducted a simulation to analysis of diffuser geometry effects on the flow profile and performance of the turbine. There are four types of diffuser, model I, II, III and IV with variations of the placement distance of diffuser center and turbine center, 60 cm, 70 cm and 80 cm and variations of flow velocity 0.5 m/s, 0.8 m/s and 1.1 m/s. Model I diffuser increases the flow velocity up to 2.3 times, model II increases up to 2.1 times, model III increases up to 1.93 times, model IV increases up to 1.76 times. The highest increased torque is obtained on model IV diffuser with the placement distance of diffuser center and turbine center 60 cm. Flow velocity 0.5 m/s increases torque up to 33.37%, flow velocity 0.8 m/s increases up to 50.56%, flow velocity 1.1 m/s increases up to 57.95%. Model IV diffuser on the placement distance of diffuser center and turbine center 60 cm increases highest torque caused by increased flow velocity through the blade and shaft is more evenly distributed.

Keywords: *channel, diffuser, Darrieus Staright Bladed, CFD*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, penulis mampu menyelesaikan laporan penelitian Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Pengaruh Geometri Kanal Terhadap Kinerja Turbin Vertikal Aksis Jenis Darrieus Straight Bladed Berbasis *Computational Fluid Dynamics*”.

Pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Palal, Ibu Istinganah, Adik Ahmad Asrori Al Kamal dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberi motivasi dan do’a.
2. Bapak Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. dan Ibu Nur Laila Hamidah, S.T., MSc., selaku dosen pembimbing yang senantiasa sabar memberikan bimbingan, motivasi dan arahan dalam menyelesaikan penelitian ini.
3. Bapak Ir. Sarwono, M.M., selaku kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan yang telah mendukung kegiatan simulasi.
4. Alfani, Aam, Erna, Yamuna dan Fitria yang telah banyak menyempatkan waktu untuk berdiskusi tentang simulasi dan topik penelitian ini.
5. Teman-teman Kelompok Studi Energi, Abdi, Zain, Reza, Alvin, Murad, Rio, Riza, Ayu, Ossy, Husnul, Endah, Buma, Fahmi.
6. Teman-teman seperjuangan mengerjakan tugas akhir, Faisal, Adit, Nia, Ganef, Egik, Ghazali, Rozaq, Gigis, Nerri.
7. Teman-teman kos Kejawan Gebang 44, Afthon, Okky, Joko, Fadhiel, Ian, Anton, Huda, Wahyu.
8. Teman-teman FKMT, Mas Nurhadi, Mas Aris, Mas Choirul, Mas Feri.
9. Teman-teman GL-14, Meko, Alfian, Angga, Alif, Ghazi, Dede, Fathur, Mas Mirza.
10. Teman-teman angkatan 2011, 2012, 2013 dan 2014 lainnya yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Jika dalam penulisan laporan penelitian ini terdapat kesalahan maka saran dan kritik yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan. Penulis berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembacanya.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Sistematika Laporan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Potensi Energi Air	5
2.2 Turbin Jenis Darrieus	6
2.3 Konsep Gaya Seret dan Angkat	9
2.4 Daya dan Torsi Turbin	12
2.5 <i>Diffuser</i>	13
2.6 <i>Computational Fluid Dynamics</i>	17
BAB III METODOLOGI	21
3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.2 Pembuatan Geometri	23
3.2.1 Geometri Turbin	23
3.2.2 Geometri <i>Diffuser</i>	24
3.3 <i>Meshing</i>	26
3.4 <i>Preprocessing</i>	27
3.5 Iterasi pada Solver	29
3.6 <i>Postprocessing</i>	29
3.7 Validasi Hasil Simulasi	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Validasi Hasil Simulasi	31

4.2 Profil Fluida pada <i>Diffuser</i> Tanpa Turbin	32
4.2.1 Profil Kecepatan Aliran	32
4.2.2 Profil Tekanan Aliran	36
4.2.3 Profil Pola Aliran	38
4.3 Gaya dan Torsi yang Dihasilkan Turbin	40
4.3.1 Pengaruh Model dan Posisi Turbin	44
4.3.2 Pengaruh Kecepatan Aliran	46
4.4 Diskusi	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	59

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi turbin	23
Tabel 3.2	Ukuran <i>meshing</i> pada simulasi	27
Tabel 3.3	Penentuan inisialisasi kondisi batas pada simulasi	28
Tabel 4.1	Validasi hasil simulasi	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi model <i>hydrokinetic turbine</i>	6
Gambar 2.2	HAT (<i>Horizontal Axis Turbine</i>)	7
Gambar 2.3	VAT (<i>Vertical Axis Turbine</i>)	8
Gambar 2.4	Turbin vertikal aksis Darrieus Straight Bladed	9
Gambar 2.5	Gaya-gaya dari fluida di sekeliling sebuah benda dua dimensi (a) gaya tekanan (b) gaya viskos (c) gaya resultan (<i>lift</i> dan <i>drag</i>)	10
Gambar 2.6	Gaya seret dan angkat pada turbin Darrieus Straight Bladed	12
Gambar 2.7	Penggolongan <i>augmentation channel</i>	14
Gambar 2.8	Bentuk <i>augmentation channel</i>	15
Gambar 2.9	Kanal buatan oleh Guney	15
Gambar 2.10	Ilustrasi aliran yang melewati turbin dengan <i>diffuser</i>	17
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	21
Gambar 3.2	Geometri turbin Darrieus Straight Bladed	24
Gambar 3.3	Geometri <i>cylinder sub domain</i> sebagai tempat turbin	24
Gambar 3.4	Variasi desain <i>diffuser</i> (a) model I (b) model II (c) model III (d) model IV	25
Gambar 3.5	Geometri <i>diffuser</i>	25
Gambar 3.6	Geometri kanal dengan <i>diffuser</i>	26
Gambar 3.7	Hasil <i>meshing</i>	27
Gambar 4.1	Kontur kecepatan aliran pada <i>diffuser</i> (a) model I (b) model II (c) model III (d) model IV	33
Gambar 4.2	Pengambilan data profil peningkatan kecepatan aliran	34
Gambar 4.3	Profil peningkatan kecepatan aliran pada <i>diffuser</i> (a) model I (b) model II (c) model III (d) model IV	34
Gambar 4.4	Kontur tekanan pada <i>diffuser</i> (a) model I (b) model II (c) model III (d) model IV	37

Gambar 4.5	Kontur <i>streamline</i> pada <i>diffuser</i> (a) model I (b) model II (c) model III (d) model IV	39
Gambar 4.6	Pola aliran pada turbin menggunakan <i>diffuser</i> (a) model I (b) model IV	40
Gambar 4.7	Pola gaya resultan pada jarak peletakan turbin (a) 60 cm (b) 70 cm (c) 80 cm	41
Gambar 4.8	Kontur tekanan yang dihasilkan turbin pada saat posisi sudut azimuth 120 derajat	42
Gambar 4.9	Pola torsi resultan pada jarak peletakan turbin (a) 60 cm (b) 70 cm (c) 80 cm	44
Gambar 4.10	Torsi yang dihasilkan oleh turbin	45
Gambar 4.11	Pengaruh torsi yang dihasilkan turbin terhadap kecepatan aliran pada jarak peletakan turbin (a) 60 cm (b) 70 cm (c) 80 cm	47
Gambar 4.12	Perbandingan torsi resultan yang dihasilkan dari berbagai variasi <i>diffuser</i>	49
Gambar 4.13	Perbandingan peningkatan torsi resultan yang dihasilkan dari berbagai variasi <i>diffuser</i>	51

DAFTAR SIMBOL

C_p	Koefesien daya [Tidak berdimensi]
E_k	Energi kinetik [J]
m	Massa [kg]
v	Kecepatan aliran [m/s]
\dot{m}	Laju aliran massa [kg/s]
ρ	Massa jenis [kg/m ³]
A	Luas penampang melintang [m ²]
P	Daya [W]
F_x	Gaya searah sumbu x [N]
D	Gaya <i>drag</i> [N]
F_y	Gaya searah sumbu y [N]
L	Gaya <i>lift</i> [N]
C_D	Koefesien <i>drag</i> [Tidak berdimensi]
C_L	Koefesien <i>lift</i> [Tidak berdimensi]
P_T	Daya arus secara teoritis [W]
F	Gaya <i>thrust</i> [N]
T	Torsi [N]
R	Jari-jari turbin [m]
C_T	Koefisien torsi [Tidak berdimensi]
λ	<i>Tip speed ratio</i> [Tidak berdimensi]
ω	Kecepatan rotasi turbin [rad/s]

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi hidrokinetik merupakan salah satu bentuk energi alternatif terbarukan yang mempunyai potensi tinggi untuk dikembangkan dalam memenuhi kebutuhan energi. Terdapat dua cara dalam mengkonversi energi hidrokinetik yaitu dengan menggunakan turbin dan tanpa menggunakan turbin (Khan, dkk., 2009). Turbin mengekstrak perubahan tekanan menjadi energi dengan cara mengurangi kecepatan aliran fluida sehingga terjadi penurunan momentum linier dari air. Sesuai dengan hukum kekekalan momentum, gaya dorong besarnya sama dengan laju penurunan momentum. Semakin banyak penurunan momentum maka akan semakin besar gaya dorong yang dihasilkan (Twidell, dkk., 2006).

Turbin Darrieus yang diciptakan oleh George Jean Maria Darrieus merupakan jenis turbin yang cocok digunakan pada perairan yang mempunyai kecepatan aliran yang rendah (El-Sayed, dkk., 1995). Salah satu keuntungan dari turbin Darrieus adalah mudah dalam pembuatan sehingga tidak membutuhkan biaya yang besar. Oleh karena itu dalam pengembangan turbin Darrieus untuk meningkatkan kinerjanya tidak menggunakan desain yang rumit karena desain turbin yang rumit akan meningkatkan biaya dalam pembuatan (Malipedi, dkk., 2012).

Salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan kinerja dari turbin adalah koefisien daya (C_p). Daya mekanik yang dapat dimanfaatkan menjadi daya listrik oleh turbin dibatasi oleh batas Betz. Berdasarkan batas Betz koefisien daya yang dapat dicapai turbin sebesar 16/27 (Betz, 1920). Peningkatan daya dapat dilakukan dengan meningkatkan kecepatan aliran. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menempatkan turbin pada daerah yang memiliki kecepatan aliran besar seperti pembuatan kanal yang memiliki pengaruh resistensi kecil serta penggunaan *nozzle*. Selain itu dapat dengan cara meningkatkan kinerja dari sistem antara lain meningkatkan bentuk *blade* dan profil *blade*,

menggunakan *variable pitch blade*, menggunakan *flip wing* serta menggunakan *fixed wing router* (Guney, 2011).

Salah satu metode yang sedang berkembang untuk meningkatkan daya turbin adalah penambahan selubung. Penambahan selubung tersebut sering disebut sebagai *duct*, *shroud*, *wind-lenses*, *noozle*, *consentrator*, *diffuser* dan *augmentation channel* (Khan, dkk., 2009). Fungsi dari penambahan selubung adalah untuk meningkatkan aliran fluida yang menuju turbin sehingga mampu meningkatkan daya yang dihasilkan oleh turbin.

Penelitian tentang kinerja selubung pada turbin arus sungai dilakukan oleh Ponta dan Jacovkis (Ponta, dkk., 2008). Pada penelitian tersebut diujikan empat macam model selubung dengan geometri hidrodinamik yang berbeda. Dari empat macam model selubung yang diujikan, model selubung E1A6 mampu menghasilkan peningkatan kecepatan aliran dari 1 m/s menjadi 1.7 m/s.

Pengembangan tentang *diffuser* dilakukan oleh Setoguchi, Shiomi dan Keneko (Setoguchi, dkk., 2008). Pada penelitian tersebut dilakukan diujikan tiga macam bentuk bagian luar *diffuser* yaitu bentuk *base type*, *bulge type* dan *straight type*. Hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa dengan bentuk bagian luar *diffuser straight type* mampu menghasilkan peningkatan kecepatan aliran sebesar 1.3 kali dari kecepatan aliran awal.

Simulasi pengaruh geometri selubung pada turbin jenis Darrius dilakukan oleh Malipedi dan Chatterjhe (Malipedi, dkk., 2012). Simulasi dilakukan dengan memvariasikan geometri selubung dan penempatan turbin terhadap selubung. Hasil simulasi menunjukkan bahwa selubung model D01 mampu meningkatkan kecepatan aliran mampu dari 1 m/s menjadi 1.4 m/s dan peletakan turbin tepat pada *throat* menghasilkan koefiseien daya sebesar 63%.

Guney (Guney, 2011) memperkenalkan model kanal buatan berbentuk *asimetris diffuser*. Kanal buatan tersebut mampu meningkatkan kinerja dari sebuah turbin khususnya turbin Kaplan. Keuntungan dari kanal buatan tersebut mampu meningkatkan

kecepatan aliran dan juga mempunyai peluang penggunaan turbin secara *cascade* dengan memperdekat jarak antar turbin.

Perubahan bentuk *diffuser* dan peletakan turbin berpengaruh terhadap kecepatan dan tekanan aliran fluida yang mengenai turbin. Perubahan kecepatan dan tekanan aliran fluida tersebut akan berpengaruh juga terhadap gaya dan torsi yang dihasilkan. Oleh dasar tersebut maka pada penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh geometri kanal yang bermodel *diffuser* dan peletakan turbin terhadap *diffuser* terhadap kinerja turbin vertikal aksis jenis Darrieus Straight Bladed.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana profil aliran air yang melewati *diffuser* pada daerah sekitar turbin?
2. Bagaimana pengaruh geometri *diffuser* dan peletakan terhadap kinerja turbin?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui profil aliran air yang melewati *diffuser* pada daerah sekitar turbin.
2. Mengetahui pengaruh geometri *diffuser* dan peletakan terhadap kinerja turbin.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis turbin yang digunakan adalah turbin vertikal aksis jenis Darrieus Straight Bladed.
2. Jumlah *blade* yang digunakan adalah 3 buah dengan panjang *chord* 10 dan *span* 80 cm.
3. Hidrofoil *blade* turbin yang digunakan adalah jenis seri NACA 0018.

4. Simulasi dilakukan pada kecepatan aliran 0.5 m/s, 0.8 m/s, 1.1 m/s.
5. Menggunakan 4 variasi model *diffuser* yaitu lebar 50 cm, 45 cm, 40 cm, 35 cm.
6. Jarak peletakan pusat turbin dengan pusat *diffuser* sebesar 60 cm, 70 cm dan 80 cm.
7. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *computational fluid dynamics* 3 dimensi.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan penelitian ini dibagi dalam 5 bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Bab I berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, dan sistematika laporan.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab II berisi secara singkat teori penunjang yang berkaitan dengan penelitian ini. Teori penunjang tersebut antara lain potensi energi air, turbin jenis Darrieus, konsep gaya seret dan gaya angkat, daya dan torsi turbin, *diffuser* dan *computational fluid dynamics*.

Bab III Metodologi

Bab III berisi tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Bab ini menyajikan tahapan simulasi mulai pembuatan geometri hingga pengambilan data.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab IV berisi analisa data dan pembahasan hasil simulasi yang dilakukan pada *computational fluid dynamics*. Adapun pembahasan yang dilakukan meliputi profil aliran air yang melewati *diffuser* pada daerah sekitar turbin serta torsi dan gaya dihasilkan oleh turbin.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab V berisi kesimpulan dari hasil dan pembahasan yang berkaitan dengan tujuan penelitian. Bab ini berisikan juga saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Potensi Energi Air

Energi air merupakan salah satu jenis energi alternatif terbarukan yang mempunyai potensi tinggi untuk dikembangkan. Terdapat lima jenis utama energi hidro dan energi laut yang berkembang yaitu gelombang laut, *tidal stream*, energi hidrokinetik sungai, energi arus laut dan energi panas laut (Asmus, dkk., 2009).

Konversi energi air dapat dilakukan dengan menggunakan sistem turbin dan tanpa menggunakan sistem turbin. Konversi menggunakan sistem turbin antara lain menggunakan turbin sumbu vertikal, turbin sumbu horizontal, *cross-flow* turbin, *venture* dan *gravitational vortex*. Sedangkan konversi tanpa menggunakan sistem turbin antara lain *flutter vane*, *piezoelectric*, *vortex induced vibration*, *oscillating hydrofoil* dan *sails* (Khan, dkk., 2009).

Konversi energi air menggunakan turbin mampu mengubah energi air menjadi energi listrik. Energi yang dapat dikonversikan bergantung pada kecepatan air, massa jenis dan luas penampang (Twidell, dkk., 2006). Energi kinetik suatu massa air m yang bergerak dengan kecepatan v dapat dirumuskan sebagai

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2.1)$$

Besar aliran massa dengan massa jenis air ρ bergerak dengan kecepatan v dan luas penampang melintang A dirumuskan sebagai

$$\dot{m} = \rho A v \quad (2.2)$$

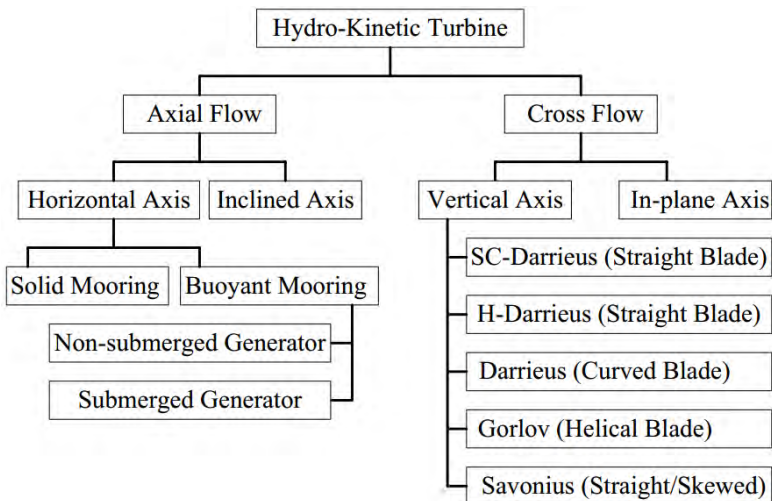
Sehingga daya yang merupakan energi yang dibawa oleh massa air setiap satuan waktu t dirumuskan sebagai

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.3)$$

2.2 Turbin Jenis Darrieus

Turbin merupakan salah satu alat konversi energi yang umum digunakan untuk menghasilkan listrik. Terdapat banyak macam turbin yang biasa digunakan antara lain *Steam Turbine*, *Gas Turbine*, *Wind Turbine* dan *Hydrokinetic Turbine*. Prinsip kerja dari turbin tersebut sama namun hal yang membedakannya adalah sumber energi yang digunakan. *Steam Turbine* dan *Gas Turbine* biasanya digunakan dalam industri yang membutuhkan listrik yang besar sedangkan *Wind Turbine* dan *Hydrokinetic Turbine* biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam skala lebih kecil.

Hydrokinetic Turbine secara umum dibedakan menjadi *Horizontal Axis Turbine* (HAT) dan *Vertical Axis Turbine* (VAT). HAT memiliki sumbu rotasi yang searah dengan arah datangnya fluida sedangkan VAT memiliki sumbu rotasi yang tegak lurus dengan arah datangnya fluida.

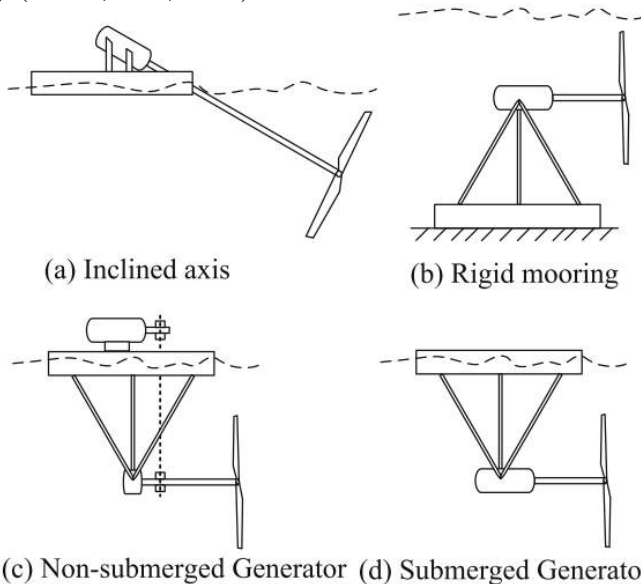


Gambar 2.1 Klasifikasi model *hydrokinetic turbine*
(Khan, dkk., 2009)

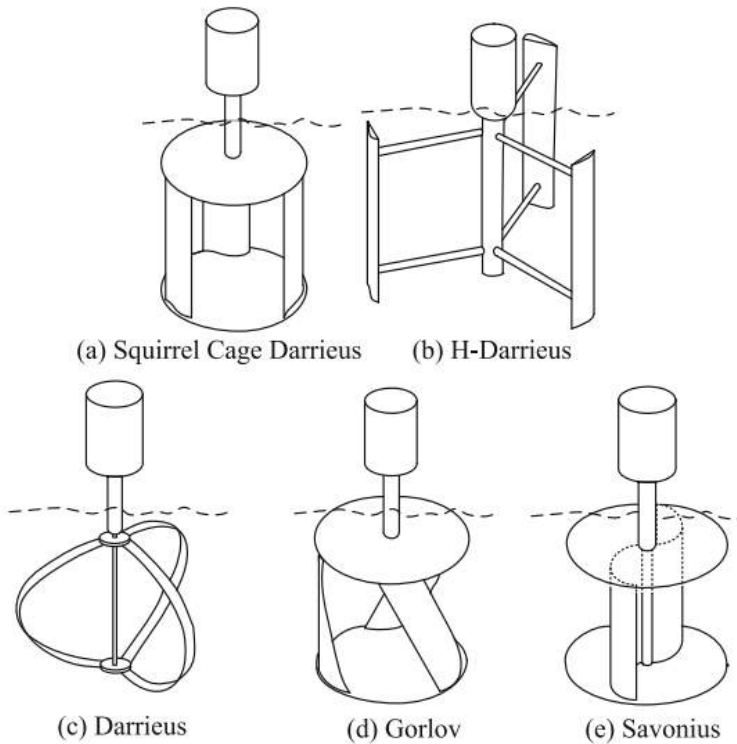
Setiap jenis turbin tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan HAT antara lain adalah efisiensi yang lebih

tinggi, kemampuan *self starting* yang lebih besar dan rasio biaya terhadap daya yang dihasilkan lebih rendah, sedangkan kekurangan HAT antara lain mengharuskan pemasangan generator dan gearbox dekat dengan rotor sehingga membuat perawatan lebih susah dan memerlukan bagian tambahan seperti ekor yang digunakan untuk mengarahkan turbin saat arah aliran fluida berubah (Zobaa, dkk., 2011).

Kelebihan VAT antara lain kemudahan dalam perawatan karena generator dan gearbox dapat diletakkan jauh dengan rotor, dapat menerima aliran fluida dari segala arah, dapat beroperasi pada aliran fluida yang rendah, dan desain *blade* yang sederhana sehingga biaya pembuatan *blade* lebih rendah, sedangkan kekurangan VAT antara lain kemampuan *self starting* yang buruk sehingga dapat mengakibatkan patahnya *blade* dan menghasilkan getaran akibat putaran. Selain itu, VAT memiliki efisiensi yang rendah serta sulit dalam mengendalikan kecepatan *blade* yang tinggi (Zobaa, dkk., 2011).



Gambar 2.2 HAT (*Horizontal Axis Turbine*) (Khan, dkk., 2009)



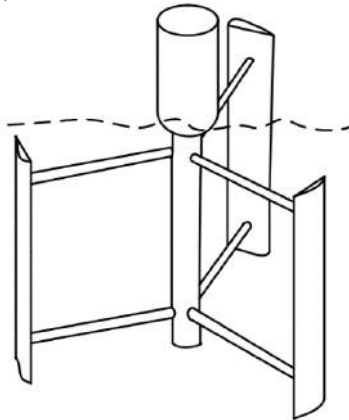
Gambar 2.3 VAT (*Vertical Axis Turbine*) (Khan, dkk., 2009)

Saat ini banyak peneliti yang mengembangkan turbin jenis VAT. VAT dibedakan menjadi dua yaitu *lift device* dan *drag device*. *Drag device* adalah turbin yang menggunakan gaya drag untuk memutar turbin seperti jenis turbin Savonius sedangkan *lift device* adalah turbin yang menggunakan gaya lift untuk memutar turbin seperti jenis turbin Darrieus (Paraschivoiu, 2002).

Turbin Darrieus diciptakan oleh George Jean Maria Darrieus dan dipatenkan pada tahun 1931 untuk jenis *curved bladed* dan *straight blade*. Turbin Darrieus mempunyai beberapa jenis antara lain *Egg – beater*, *Giromill (Straight Bladed)*, *Variable geometry oval trajectory (VGOT)*, *Darrieus Masgrowe (two-tier) rotor*, *Twisted three bladed*, dan *Crossflex* (Bhutta, dkk., 2012). Dari

berbagai VAT, turbin jenis Darrieus mempunyai efisiensi yang paling besar.

Salah satu turbin jenis Darrieus adalah *Straight Blade*. Turbin ini memiliki beberapa keunggulan diantaranya mampu beroperasi pada kecepatan aliran yang rendah, tidak terlalu memperhitungkan arah aliran karena bentuk turbin yang simetri, tidak akan terjadinya balik tekanan gravitasi pada sudunya, serta tidak banyak memakan banyak tempat (Khalid, dkk., 2012). Namun seperti jenis VAT yang lain turbin Darrieus *Straight Bladed* mempunyai kelemahan antara lain kemampuan *self-starting* yang rendah sehingga mampu mengakibatkan patahnya *blade* dan menghasilkan getaran akibat putaran turbin (Coste, dkk., 2004). Untuk mengatasi *self-starting* yang rendah tersebut maka banyak dikembangkan turbin yang dirancang dengan model *blade* yang bergeometri simetris seperti jenis NACA 4 digit contohnya NACA seri 0012, 0015 dan 0018 (Islam, dkk., 2006).

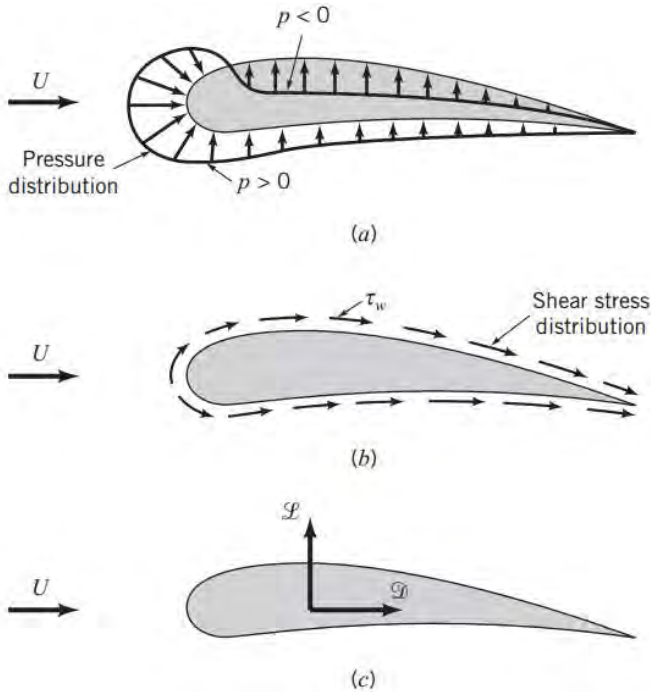


Gambar 2.4 Turbin vertikal aksis Darrieus Straight Bladed
(Hassan, dkk., 2012)

2.3 Konsep Gaya Seret dan Angkat

Jika sebuah benda bergerak melalui sebuah fluida maka akan terjadi interaksi antara benda dan fluida tersebut (Munson, dkk., 2002). Fenomena tersebut dapat digambarkan melalui bentuk gaya-gaya pada permukaan fluida dan benda yang disebabkan oleh

tegangan normal akibat tekanan p dan tegangan geser dinding τ_w , akibat viskos.



Gambar 2.5 Gaya-gaya dari fluida di sekeliling sebuah benda dua dimensi (a) gaya tekanan (b) gaya viskos (c) gaya resultan (*lift* dan *drag*) (Munson, dkk., 2002)

Gaya resultan dengan arah yang sejajar dengan kecepatan hulu disebut sebagai gaya seret (*drag*) D dan gaya resultan yang tegak lurus dengan arah kecepatan hulu disebut sebagai gaya angkat (*lift*) L . Resultan dari tekanan dan tegangan geser dapat diperoleh dengan mengintegrasikan pengaruh-pengaruh dari kedua besaran tersebut. Komponen x dan y dari gaya fluida pada elemen luas kecil dA dirumuskan sebagai

$$dF_x = (p \, dA) \cos\theta + (\tau_w \, dA) \sin\theta \quad (2.4)$$

$$D = \int dF_x = \int p \cos\theta \, dA + \int \tau_w \sin\theta \, dA \quad (2.5)$$

$$dF_y = -(p \, dA)\sin\theta + (\tau_w \, dA) \cos\theta \quad (2.6)$$

$$L = \int dF_y = -\int p \sin\theta \, dA + \int \tau_w \cos\theta \, dA \quad (2.7)$$

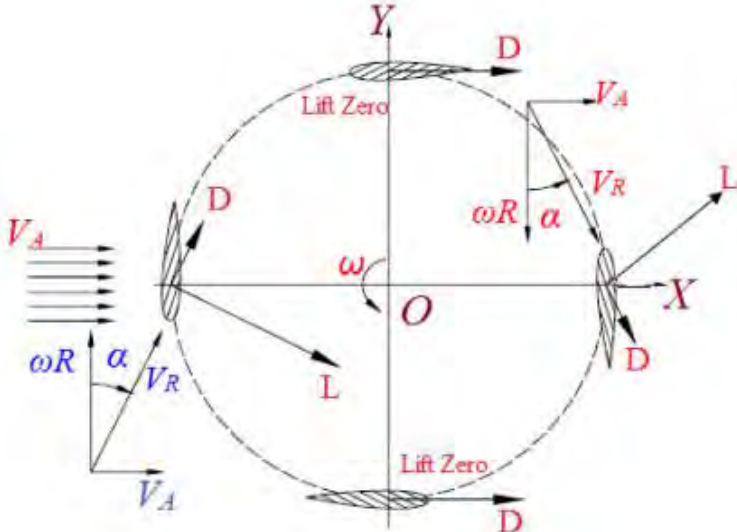
Untuk melakukan pengintegrasian dan menentukan gaya hambat dan gaya angkat maka harus diketahui bentuk benda (yaitu, θ sebagai fungsi dari lokasi disepanjang benda) dan distribusi tekanan dan tegangan geser disepanjang permukaan benda. Nilai dari distribusi tekanan dapat diperoleh secara eksperimental dengan menggunakan rangkaian tiap tekanan statik sepanjang permukaan benda sedangkan nilai dari tegangan geser sulit ditentukan. Tanpa mengetahui nilai dari distribusi tekanan dan tegangan geser maka nilai gaya hambat dan gaya angkat tidak dapat ditentukan. Cara lain yang dapat digunakan adalah dengan mendefinisikan koefisien gaya hambat dan gaya angkat yang tak berdimensi dan menentukan nilai perkiraan dengan cara menggunakan analisis yang disederhanakan, teknik numerik, atau eksperimen yang sesuai. Koefisien gaya hambat C_D dan gaya angkat C_L dengan fluida yang mempunyai massa jenis ρ , luas sapuan fluida A dan bergerak dengan kecepatan v dirumuskan sebagai

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (2.8)$$

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (2.9)$$

Pada turbin jenis Darrieus Straight Bladed gaya angkat dihasilkan oleh turbin dikarenakan bentuk hidrofoil dari *blade* yang berfungsi memotong aliran fluida dengan sudut serang tertentu sehingga mengakibatkan perbedaan tekanan. Perbedaan tekanan tersebut akan mengakibatkan terjadinya gaya angkat yang menyebabkan *blade* bergerak kedepan. Torsi yang dihasilkan oleh

gaya angkat yang digunakan untuk mendorong gerakan turbin ini harus lebih besar dari torsi yang dihasilkan oleh gaya seret.



Gambar 2.6 Gaya seret dan angkat pada turbin Darrieus Straight Bladed (Khalid, dkk., 2012)

2.4 Daya dan Torsi Turbin

Daya sebuah turbin pada keadaan sebenarnya lebih kecil dibandingkan daya dari aliran arus yang melewati rotor turbin. Hal tersebut dikarenakan sebagian energi kinetik dari arus ditransfer ke rotor dan sisanya meninggalkan rotor. Besarnya energi arus yang dapat diekstrak menjadi energi mekanik yang melewati rotor dianggap sebagai efisiensi atau koefisien daya (C_p). Koefisien daya sebuah turbin dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti profil *blade* rotor, susunan *blade*, pengaturan *blade* dan lain-lain. Koefisien daya yang melewati rotor merupakan perbandingan antara daya keluaran yang dihasilkan rotor dengan daya arus secara teoritis yang dirumuskan sebagai

$$C_p = \frac{2P_T}{\rho AV^3} \quad (2.10)$$

Torsi sebuah rotor turbin pada kenyataannya lebih kecil dibandingkan dengan nilai teoritis. Untuk mencari nilai torsi rotor dibutuhkan gaya *thrust* rotor yang dirumuskan sebagai

$$F = \frac{1}{2} \rho A V^2 \quad (2.11)$$

Sehingga torsi rotor yang mempunyai jari jari R secara teoritis dirumuskan sebagai

$$T = \frac{1}{2} \rho A V^2 R \quad (2.12)$$

Koefisien torsi (C_T) yang merupakan perbandingan antara torsi aktual dengan torsi teoritis dirumuskan sebagai

$$C_T = \frac{2T}{\rho A V^2 R} \quad (2.13)$$

Untuk menuntukan efisiensi interkasi antara rotor dengan aliran fluida arus dapat dijelaskan melalui *tip speed ratio (TSR)*. TSR merupakan perbandingan antara kecepatan diujung blade ωR dengan kecepatan aliran v

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \quad (2.14)$$

TSR juga merupakan perbandingan antara koefisien daya dengan koefisien torsi yang rumuskan sebagai

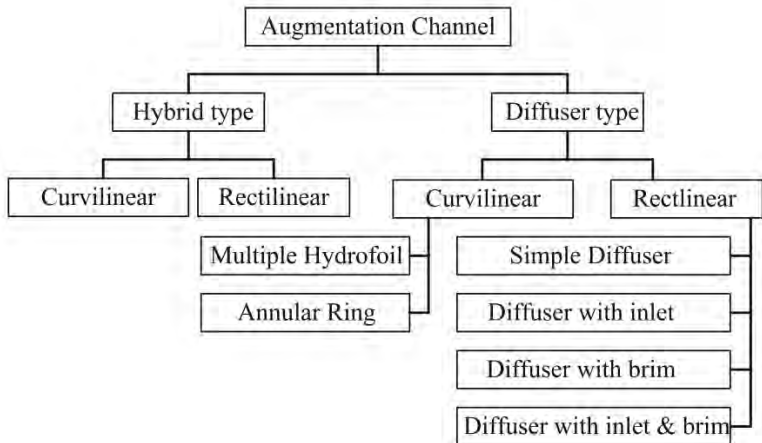
$$\frac{C_p}{C_T} = \frac{\omega R}{V} = \lambda \quad (2.15)$$

2.5 Diffuser

Salah satu tujuan utama dari pengembangan turbin adalah meningkatkan daya turbin. Untuk meningkatkan daya ekstraksi sebuah turbin dapat dilakukan dengan cara meningkatkan kecepatan aliran fluida. Dengan tujuan tersebut maka saat ini banyak dikembangkan kanal buatan tambahan atau *augmentation*

channel. *Augmentation channel* sering disebut sebagai *duct*, *shroud*, *wind-lens*, *nozzle*, *concentrator* atau *diffuser* (Khan, dkk 2009).

Secara umum *augmentation channel* dapat digolongkan sebagai berikut

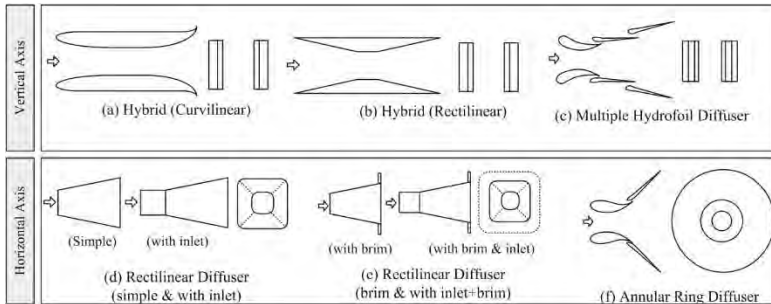


Gambar 2.7 Penggolongan *augmentation channel*
(Khan, dkk., 2009)

Augmentation channel secara sederhana berbentuk *noozle*, silinder lurus atau *diffuser*. Penggunaannya dapat dipakai baik pada jenis turbin vertikal aksis maupun horizontal aksis. Dari bentuk dasar tersebut maka dikembangkan berbagai bentuk dan variasi lain. Dalam penelitian sering dikembangkan model dengan menggunakan gabungan antara *noozle*, silinder lurus dan *diffuser*. Setiap bentuk mempunyai keuntungan dan kelebihan masing-masing.

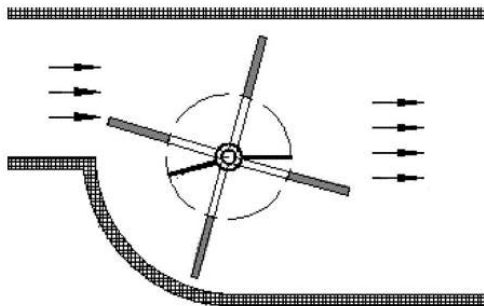
Dalam desainnya *augmentation channel* dibagi menjadi dua jenis yaitu untuk turbin vertikal aksis dan turbin horizontal aksis. Pada turbin vertikal aksis jenis yang digunakan antara lain *hybrid (curvilinear)*, *hybrid (rectilinear)* dan *multiple hydrofoil diffuser*. Sedangkan pada turbin horizontal aksis jenis yang digunakan antara lain *rectilinear diffuser (simple dan with inlet)*, *rectilinear diffuser (brim dan with inlet+brim)* dan *annular ring diffuser*.

Perbedaan dari bentuk-bentuk tersebut adalah geometri interior dalam.



Gambar 2.8 Bentuk *augmentation channel*
(Khan, dkk., 2009)

Selain dengan bentuk dasar dari *augmentation channel* tersebut, masih terdapat banyak pengembangan bentuk geometri *augmentation channel* untuk meningkatkan kecepatan aliran fluida. Pengembangan tersebut antara lain dengan pembuatan *augmentation channel* berbentuk asimetris. Bentuk asimetris tersebut diperkenalkan oleh Mukrimin Sevket Guney dengan mengadopsi bentuk *Hybrid (rectelinier)*.



Gambar 2.9 Kanal buatan oleh Guney (Guney, 2011)

Pada turbin air meskipun masih relatif sedikit penelitian penggunaan *diffuser*, namun penggunaannya sangat bermanfaat

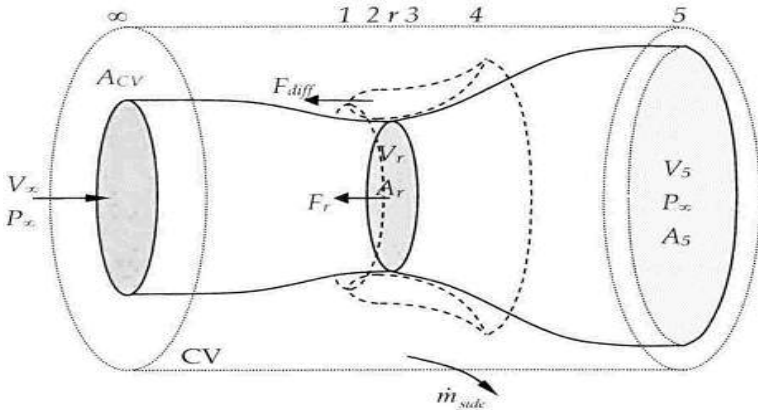
untuk meningkatkan kinerja turbin pada kecepatan aliran fluida yang relatif rendah. Prinsip dasar dari bentuk *diffuser* adalah meningkatkan kecepatan aliran fluida yang melewati turbin. Perubahan tekanan dan kecepatan aliran pada *upstream* dan *downstream* dijelaskan melalui persamaan Bernoulli dengan menggunakan analisa satu dimensi. Persamaan Bernoulli merupakan prinsip dalam perhitungan tekanan statis dan kecepatan yang diturunkan dari persamaan konversi energi pada aliran isothermal, *steady* dan *invisid*. Persamaan Bernoulli dirumuskan sebagai

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 = P_{total} \quad (2.16)$$

P adalah tekanan statis, h adalah ketinggian relatif titik ukur, P_t adalah tekanan total. Persamaan tersebut menunjukkan tekanan pada satu titik merupakan resultan dari tekanan statis, tekanan hidrostatik dan tekanan hidrodinamis. Jika tekanan hidrostatik yang dipengaruhi oleh ketinggian diabaikan maka persamaan dirumuskan sebagai

$$P_t = P + \frac{1}{2}\rho V^2 \quad (2.17)$$

Pada analisa *diffuser* digunakan asumsi bahwa turbin sebagai sebuah piringan yang ideal yang bergerak tanpa gesekan. Tidak ada komponen kecepatan rotasi pada *wake*. Semua proses terjadi pada bilangan *Mach* yang rendah dan densitas fluida yang konstan. Aliran diasumsikan tunak, tak termampatkan, tanpa gesekan serta tidak ada gaya luar yang bekerja pada atas atau bagian bawah aliran turbin.



Gambar 2.10 Ilustrasi aliran yang melewati turbin dengan *diffuser*

Aliran *upstream* dari rotor dapat dianalisis melalui persamaan Bernoulli dengan asumsi tidak ada *loss* pada *inlet I*. Hal tersebut dirumuskan sebagai

$$P_{\infty} + \frac{1}{2}\rho V_{\infty}^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 \quad (2.18)$$

Pada *outlet* persamaan Bernoulli dirumuskan sebagai

$$P_4 + \frac{1}{2}\rho V_4^2 = P_{\infty} + \frac{1}{2}\rho V_5^2 \quad (2.19)$$

Selubung membuat adanya penurunan tekanan yang besar antara *upstream* dan *downstream*. Hal tersebut membuat kecepatan aliran yang melewati turbin tinggi dibandingkan dengan kecepatan aliran *upstream*.

2.6 Computational Fluid Dynamics

Komputasi dinamika fluida atau *Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan suatu metode komputasi yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia,

dan fenomena-fenomena lain dengan menyelesaikan persamaan matematika.

Simulasi berbasis CFD telah dikembangkan mulai tahun 1960an pada industri luar angkasa. Namun, saat ini simulasi CFD telah digunakan secara luas pada industri manufaktur hingga industri kimia. Keuntungan menggunakan CFD dalam analisa adalah *insight* (pemahaman mendalam), *foresight* (prediksi menyeluruh), dan *efficiency* (efisiensi waktu dan biaya) (Anderson, dkk., 2005)

Aspek fisik dari aliran dinamik fluida didasarkan pada prinsip hukum kekekalan massa, momentum dan energi. Pada umumnya terdapat tiga tahapan untuk melakukan proses simulasi CFD, yaitu:

1. *Preprocessing*

Preprocessing merupakan tahapan pertama untuk membangun dan menganalisis sebuah model CFD, yaitu dengan melakukan penggambaran geometri model, membuat *mesh* untuk membagi daerah komputasi menjadi sejumlah grid yang sesuai, menentukan parameter fisis dari kondisi batas model dan sifat-sifat fluidanya.

2. *Processing* atau *solving*

Solving merupakan tahapan untuk menghitung kondisi-kondisi yang telah diterapkan pada saat *preprocessing*. Pada proses *solving*, perhitungan dilakukan dengan cara pendekatan numerik seperti elemen hingga, beda hingga serta volum hingga. Pada proses *solving* akan dilakukan iterasi hingga semua data yang dimasukkan dapat terhitung dan mencapai kondisi konvergen.

3. *Postprocessing*

Postprocessing merupakan langkah terakhir dalam simulasi CFD yaitu mengorganisasi dan menginterpretasikan data hasil simulasi CFD yang berupa kontur gambar, plot grafik dan animasi. Visualisasi yang dapat ditampilkan pertama adalah kontur (*contour*) yang merupakan pola dari nilai parameter fisis yang disimulasikan seperti kontur kecepatan, tekanan dan *vorticity*. Kedua adalah vektor (*vector*) yang merupakan arah dari besaran seperti vektor kecepatan. Ketiga

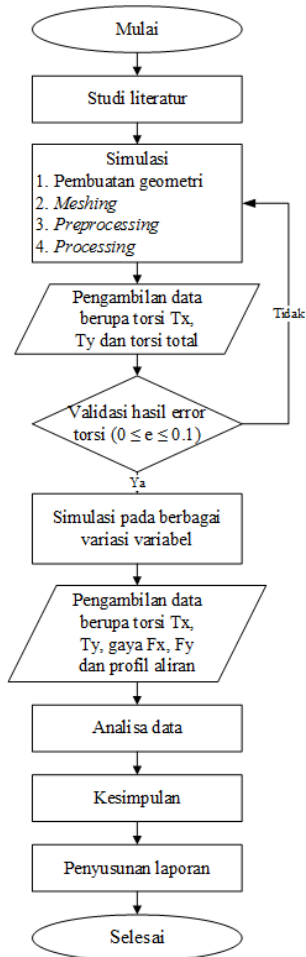
adalah bentuk aliran (*streamline*) yang merupakan pergerakan kontinyu fluida yang bergerak sepanjang ruang. Keempat adalah *particle track* yang merupakan lintasan partikel hasil diskritisasi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian ditunjukkan dengan diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur berupa tinjauan pustaka terhadap beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya serta teori-teori penunjang yang berkaitan. Tinjauan pustaka dirujuk dari berbagai sumber antara lain jurnal, laporan, buku, makalah dan informasi tambahan lainnya. Adapun literatur berkaitan dengan potensi energi air, turbin jenis Darrieus, konsep gaya seret dan gaya angkat, daya dan torsi turbin, *diffuser* dan *computational fluid dynamics*..

Pada penelitian ini simulasi dilakukan menggunakan *computational fluid dynamics*. Tahapan simulasi terdiri dari pembuatan geometri, *meshing*, *preprocessing*, *processing* dan *post processing*. Simulasi awal digunakan untuk memvalidasi hasil simulasi. Validasi bertujuan untuk memastikan hasil simulasi telah sesuai dan mendekati kondisi sebenarnya. Validasi hasil simulasi dilakukan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Susilo (Susilo, dkk., 2014). Data yang divalidasikan berupa nilai torsi total yang dihasilkan pada sudut azimuth 0 derajat dengan kondisi *straight channel* atau kanal tanpa adanya geometri model *diffuser*. Hasil dari validasi tersebut digunakan untuk menentukan ukuran *mesh* serta kondisi batas yang digunakan pada penelitian ini. Ukuran *mesh* dan kondisi batas pada simulasi dianggap sesuai dan mendekati kondisi sebenarnya jika *error* torsi yang dihasilkan kurang dari 10 % (Oberkampf, dkk., 2002).

Untuk mengetahui pengaruh geometri *diffuser* pada kanal terhadap kinerja turbin dan profil aliran fluida, maka dilakukan variasi bentuk dari *diffuser*. *Diffuser* yang digunakan diadopsi dari kanal buatan yang diperkenalkan oleh Mukrimin Sevkett Guney (Guney, 2011). Adapun variabel yang divariasikan adalah model *diffuser*, jarak peletakan turbin dan kecepatan aliran. Simulasi dilakukan dengan 4 variasi model geometri *diffuser*, 3 variasi jarak peletakan turbin dengan pusat *diffuser* dan 3 variasi kecepatan.

Data yang diperoleh dari hasil simulasi meliputi torsi, gaya, kontur kecepatan aliran, kontur tekanan dan kontur pola aliran. Data yang diperoleh tersebut kemudian dianalisa sesuai dengan tujuan penelitian. Setelah dianalisa maka tahap selanjutnya dilakukan penarikan kesimpulan serta penyusunan laporan.

3.2 Pembuatan Geometri

3.2.1 Geometri Turbin

Pada penelitian ini turbin yang digunakan adalah turbin vertikal aksis jenis *Darrieus Straight Bladed*. Geometri turbin terdapat 4 domain, yaitu *blade 1*, *blade 2*, *blade 3* dan *shaft*. *Blade* turbin menggunakan airfoil jenis NACA 0018. Turbin yang disimulasikan memiliki spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

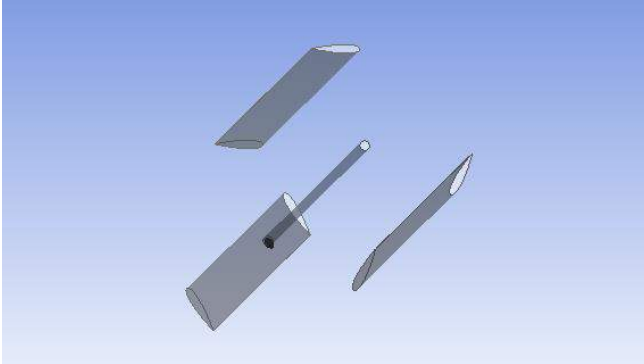
Tabel 3.1 Spesifikasi turbin

No	Besaran	Nilai
1	Diameter Turbin	40 cm
2	Panjang Chord <i>Blade</i>	10 cm
3	Panjang Span <i>Blade</i>	80 cm
4	Diameter <i>Shaft</i>	5 cm
5	Panjang <i>Shaft</i>	80 cm

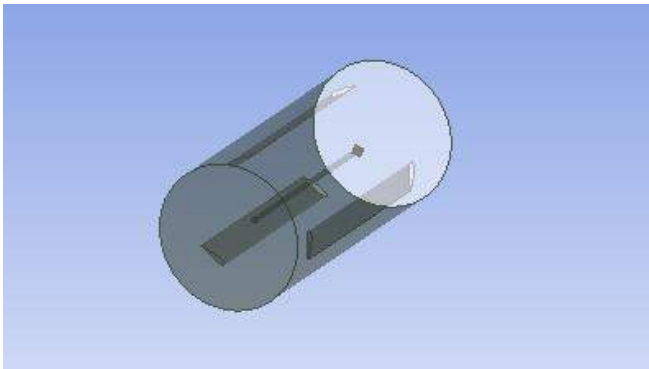
Langkah pertama pembuatan geometri adalah membuat *blade*. Pembuatan geometri dimulai dengan membuat titik (*point*) sesuai dengan bentuk NACA 0018 yang akan digunakan sebagai *blade*. Titik tersebut di-*import* dari *file* format .txt yang berisi koordinat dari NACA 0018. Dari titik koordinat tersebut dihubungkan sehingga akan membentuk garis (*line*). Garis yang terhubung selanjutnya dibuat menjadi sebuah permukaan (*surface*) dan dijadikan sebuah benda (*body*) berbentuk *blade*. *Blade* tersebut kemudian digandakan dengan dengan jarak sudut 120 derajat dan 240 derajat. Langkah kedua adalah membuat *shaft*. Pembuatan *shaft* dilakukan dengan memilih tabung (*cylinder*) dengan ukuran diameter dan panjang yang sesuai dengan ukuran *shaft*. Geometri turbin ditunjukkan pada Gambar 3.2.

Setelah pembuatan geometri turbin maka tahap selanjutnya dilakukan pembuatan domain *cylinder sub domain*. *Cylinder sub domain* yang telah dibuat kemudian di-*subtract* dengan domain turbin. *Cylinder sub domain* digunakan untuk menggambarkan keadaan turbin yang berputar akibat dari aliran arus. Posisi *cylinder*

sub domain tepat sebagai tempat turbin. Geometri *cylinder sub domain* ditunjukkan pada Gambar 3.3.



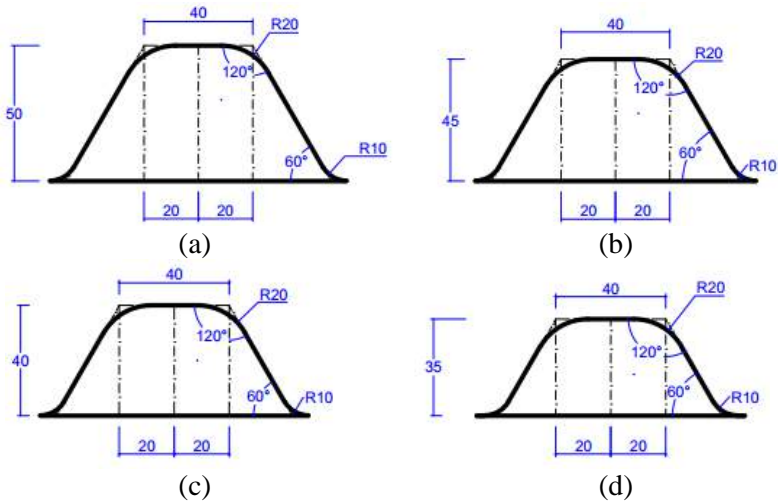
Gambar 3.2 Geometri turbin Darrieus Straight Bladed



Gambar 3.3 Geometri *cylinder sub domain* sebagai tempat turbin

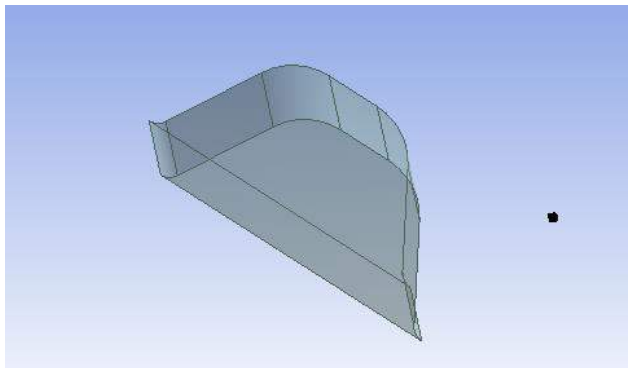
3.2.2 Geometri *Diffuser*

Ukuran dari *diffuser* mempunyai 4 variasi yaitu dengan lebar 50 cm, 45 cm, 40 cm dan 35 cm. Secara rinci variasi desain *diffuser* ditunjukkan pada Gambar 3.4.



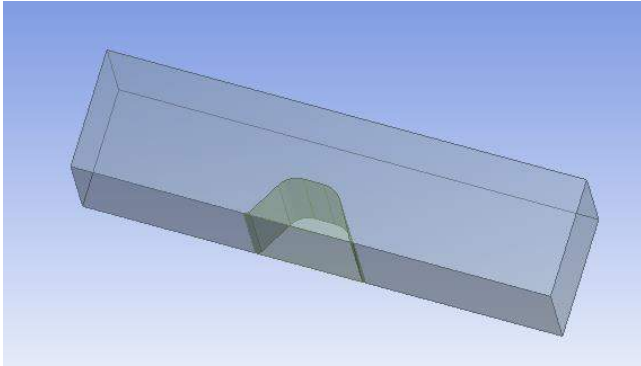
Gambar 3.4 Variasi desain *diffuser* (a) model I (b) model II (c) model III (d) model IV

Pembuatan geometri *diffuser* dilakukan dengan menggunakan menu *sketch* karena bentuk yang kompleks. Pembuatan dimulai dengan membuat garis sesuai dengan desain geometri. Setelah seluruh garis (*line*) terhubung maka dilakukan pembuatan bidang (*surface*) kemudian dijadikan benda (*body*).



Gambar 3.5 Geometri *diffuser*

Setelah domain *diffuser* terbentuk, maka tahap selanjutnya dilakukan pembuatan domain kanal. Domain kanal dibuat dengan panjang 400 cm, lebar 100 cm dan tinggi 120 cm. Pembuatan domain kanal dilakukan dengan memilih tabung dengan ukuran yang sesuai dengan ukuran. Domain *diffuser* dan kanal tersebut kemudian di-*subtract* sehingga menyatu.

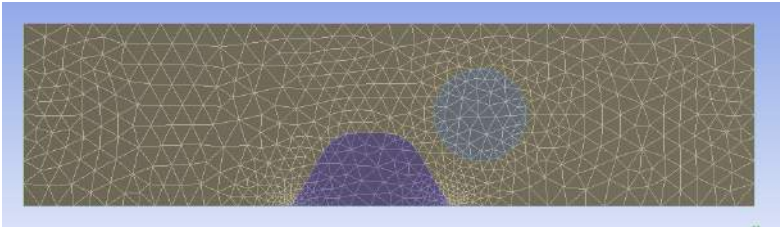


Gambar 3.6 Geometri kanal dengan *diffuser*

3.3 Meshing

Setelah pembuatan geometri seluruh domain dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah *meshing*. Meshing merupakan proses pemecahan bagian domain menjadi bagian yang lebih kecil-kecil. Bagian tersebut dianggap sebagai sebuah *control volume* yang akan dilakukan perhitungan persamaan konservasi energi, massa, momentum dan persamaan lainnya.

Dalam melakukan *meshing*, semakin kecil ukuran meshing maka akan didapatkan hasil yang mempunyai hasil akurasi yang lebih baik namun akan membutuhkan komputasi yang tinggi sehingga diperlukan komputer dengan kemampuan komputasi yang tinggi. Selain ukuran meshing, jenis *meshing* juga akan mempengaruhi akurasi dari hasil simulasi. Pada simulasi yang menggunakan analisa 3 dimensi yang kompleks jenis *mesh* yang cocok adalah jenis tetrahedral.



Gambar 3.7 Hasil *meshing*

Untuk mendapatkan hasil simulasi yang akurat namun tidak membutuhkan komputasi yang tinggi, maka dilakukan *meshing* dengan ukuran berbeda setiap domain. Pada bagian domain turbin yang terdiri dari *blade* dan *shaft* ukuran *meshing* dibuat lebih kecil dibandingkan dengan bagian domain lain. Hal tersebut dikarenakan pada bagian domain turbin akan dilakukan pengambilan data berupa gaya dan torsi sehingga memerlukan akurasi yang baik. Domain yang disimulasikan mempunyai ukuran *meshing* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Ukuran *meshing* pada simulasi

No	Nama Bagian	Keterangan <i>Mesh Spacing</i>	Ukuran <i>Mesh</i>
1	<i>Blade</i> dan <i>Shaft</i>	<i>Angular resolution [degrees] 18</i>	<i>Min : 0,05 cm Max : 1 cm</i>
2	<i>Diffuser</i>	<i>Angular resolution [degrees] 18</i>	<i>Min : 0.5 cm Max : 10 cm</i>
3	<i>Box Wall</i> dan <i>Cylinder Wall</i>	<i>Angular resolution, [degrees] 18</i>	<i>Min : 0.5 cm Max : 10 cm</i>
4	<i>Inlet</i> dan <i>Outlet</i>	<i>Angular resolution, [degrees] 18</i>	<i>Min : 0.5 cm Max : 10 cm</i>
5	<i>Box Curve</i> dan <i>Cylinder Curve</i>	<i>Constant Resolution</i>	<i>Constant Edge Length: 5 cm</i>

3.4 *Preprocessing*

Preprocessing merupakan tahap dilakukan penentuan kondisi batas (*boundary condition*). Pemilihan kondisi batas dilakukan sesuai dengan kondisi benda dan lingkungan sebenarnya agar

didapatkan hasil simulasi yang sesuai. Kondisi batas yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

Kondisi batas

- *Blade dan Shaft* : Wall
- *Difuser* : Wall
- Dinding setiap sisi kanal: Wall
- Aliran masuk : Velocity Inlet
- Aliran keluar : Pressure Outlet
- *Cylinder* : Interface

Kondisi kontinyu

- Volume kanal : Fluid

Kondisi batas yang telah ditentukan tersebut maka tahap selajutnya adalah inisialisasi setiap domain. Inisialisai kondisi batas tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Penentuan inisialisasi kondisi batas pada simulasi

No	Kondisi Batas	Inisialisasi
1	<i>Blade dan Shaft</i>	<i>No slip, rotational axis direction sumbu z, rpm</i>
2	<i>Diffuser</i>	<i>No slip</i>
3	Dinding setiap sisi kanal	<i>No slip</i>
4	Atas kanal	<i>Free slip</i>
5	Aliran masuk	<i>Velocity</i>
6	Aliran keluar	<i>Average static pressure 0 Pa</i>
7	<i>Cylinder</i>	<i>Fluid-fluid</i>

Inisialisasi kondisi batas pada *blade* dan *shaft* didefinisikan sebagai *no slip* karena terjadi gesekan antara fluida dengan *blade* dan *shaft*, kemudian digunakan *rotational axis direction sumbu z* untuk memutar turbin dengan pusat sumbu z serta pemberian nilai perkiraan kecepatan rotasi turbin (rpm) yang didapatkan pada penelitian sebelumnya oleh Mecha Garinda A G (Gunawan, dkk., 2014). Pada bagian *diffuser* serta dinding setiap sisi kanal didefinisikan sebagai *no slip* karena dianggap terjadi gesekan antara fluida dengan dinding kanal sedangkan pada bagian atas kanal didefinisikan sebagai *free slip* karena dianggap tidak terjadi

gesekan. Pada aliran masuk didefinisikan kecepatan aliran fluida yang masuk ke kanal sedangkan pada bagian aliran keluar didefinisikan sebagai *average static pressure* 0 Pa. Pada bagian *cylinder* didefinisikan sebagai interface yang kedua sisinya berupa *fluid-fluid*.

Model turbulensi yang digunakan pada simulasi ini adalah jenis *k-Epsilon*. Model *k-epsilon* merupakan model sederhana yang hanya membutuhkan kondisi batas dan kondisi awal sehingga tidak membutuhkan kemampuan komputasi yang tinggi. Model ini baik untuk menganalisa pola aliran dekat dinding (Molina, dkk., 2014).

Setelah inisiasi kondisi batas selesai, maka dilakukan pengaturan kriteria konvergensi. Nilai kriteria konvergensi yang digunakan pada simulasi ini adalah RMS (*root mean square residual error*) sebesar 10^{-4} . Nilai tersebut didasarkan pada kebutuhan untuk simulasi pada bidang *engineering* yang membutuhkan tingkat keakuratan tinggi.

3.5 Iterasi pada Solver

Solving merupakan suatu proses perhitungan data input model geometri hingga mencapai batas nilai *error* yang telah ditentukan. Perhitungan dilakukan dengan didasarkan pada kondisi yang disesuaikan saat *preprocessing*. Pada simulasi ini proses *solving* dianggap selesai atau konvergen ketika nilai yang dihasilkan sudah mencapai 10^{-4} .

3.6 Postprocessing

Post processing merupakan proses terakhir dalam simulasi. Pada tahap ini dilakukan pengambilan data hasil simulasi. Pengambilan data berupa nilai torsi x, torsi y, torsi z, gaya x, gaya y, dan gaya z. Selain itu dilakukan visualisasi hasil simulasi meliputi kontur kecepatan aliran, kontur tekanan, *vector velocity* dan *streamline*.

3.7 Validasi Hasil Simulasi

Setelah hasil simulasi berupa torsi didapatkan, maka tahap selanjutnya adalah validasi hasil dengan cara membandingkan nilai

torsi yang dihasilkan pada penelitian ini dengan torsi yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya. Jika didapatkan selisih torsi resultan melebihi 10 % maka harus dilakukan simulasi ulang. Simulasi ulang dilakukan dengan dengan mengubah ukuran *meshing* atau dengan mengubah kondisi batas. Setelah simulasi ulang didapatkan selisih torsi resultan dibawah 10% maka kondisi tersebut digunakan sebagai acuan untuk simulasi berikutnya dengan berbagai variasi yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Validasi Hasil Simulasi

Validasi merupakan proses penting dari sebuah penelitian yang berbasis simulasi. Dengan dilakukan validasi maka dapat diketahui kesesuaian dengan kondisi sebenarnya. Terdapat berbagai cara yang dapat dilakukan untuk memvalidasi hasil simulasi, antara lain menggunakan *meshing grid*, *error* torsi yang dibandingkan dengan hasil eksperimen dan lain sebagainya.

Pada penelitian ini dilakukan validasi dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan Susilo (Susilo, dkk., 2014) dengan kondisi *straight channel* atau kanal tanpa adanya geometri model *diffuser*. Validasi dilakukan dengan meninjau kondisi batas dan *mesh* serta membandingkan nilai torsi resultan yang dihasilkan oleh turbin. Nilai torsi resultan yang divalidasikan dengan penelitian sebelumnya adalah torsi resultan yang dihasilkan pada kondisi kecepatan aliran 0.67 m/s dan 0.72 m/s. Hasil validasi penelitian ini dengan penelitian sebelumnya ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Validasi hasil simulasi

Kecepatan Aliran (m/s)	Penelitian sebelumnya		Penelitian ini		Error
	Jumlah mesh	Torsi (N.m)	Jumlah mesh	Torsi (N.m)	
0.67	7786724	12,69	8106773	12.37	2,53
0.72	7786724	16,05	8106773	15.20	5,28
Error rata-rata					3.90

Pada kondisi kecepatan aliran tersebut didapatkan *error* masing-masing sebesar 2.53 % serta 5.28 % sehingga didapatkan *error* rata-rata sebesar 3.90 %. Dengan *error* rata-rata tersebut maka kondisi batas dan ukuran *mesh* dapat digunakan untuk

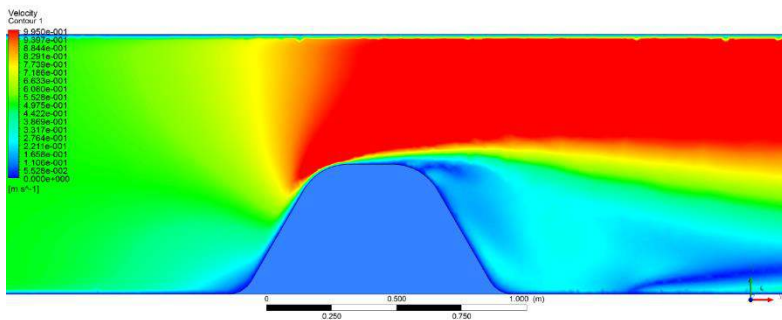
melakukan simulasi pada penelitian ini karena dapat dianggap telah sesuai dan mendekati kondisi sebenarnya (Oberkamp, dkk., 2002).

4.2 Profil Fluida pada *Diffuser* Tanpa Turbin

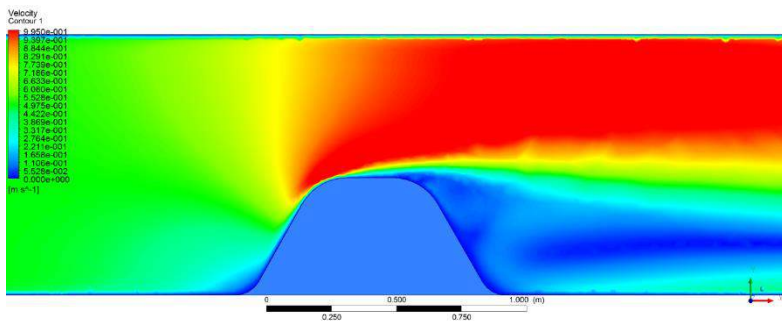
Profil aliran yang menunjukkan kontur kecepatan, tekanan dan arah aliran merupakan fenomena yang sulit diamati pada sebuah eksperimen. Kompleksitas struktur aliran yang terjadi pada kanal dan turbin tersebut mampu diamati menggunakan bantuan simulasi *computational fluid dynamics*.

4.2.1 Profil Kecepatan Aliran

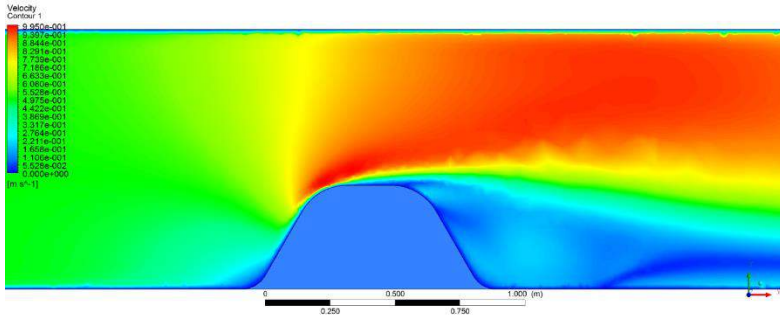
Untuk melihat pengaruh *diffuser* terhadap distribusi kecepatan aliran dapat dilihat pada Gambar 4.1. Kontur kecepatan aliran pada *diffuser* diujikan dalam kondisi kecepatan aliran yang masuk sebesar 0.5 m/s.



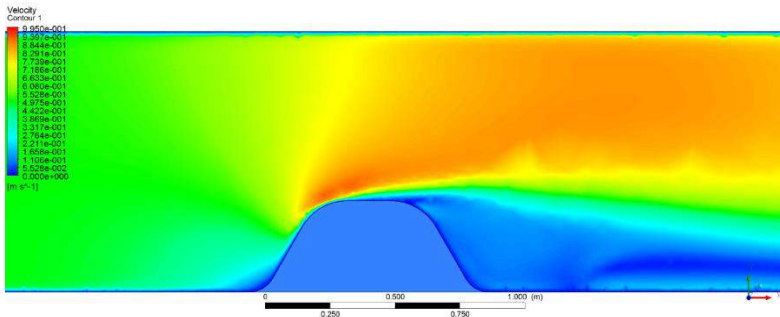
(a)



(b)



(c)

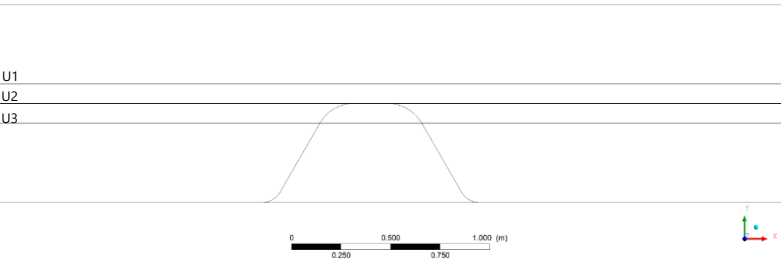


(d)

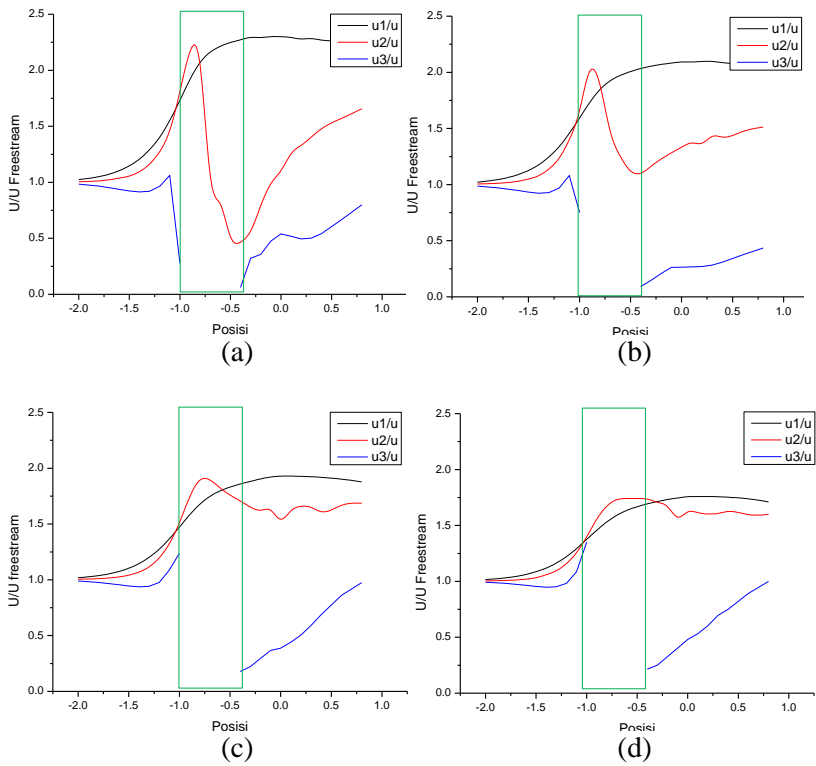
Gambar 4.1 Kontur kecepatan aliran pada *diffuser*
(a) model I (b) model II (c) model III (d) model IV

Kecepatan aliran yang melewati *diffuser* menunjukkan terjadi peningkatan pada daerah yang berwarna merah. Sedangkan pada daerah yang berwarna biru terjadi penurunan kecepatan aliran air. Peningkatan kecepatan aliran air yang melewati *diffuser* secara rinci dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Nilai peningkatan kecepatan aliran diambil pada 3 garis lurus pada 3 posisi yang berbeda. Titik 0.0 merupakan posisi peletakan turbin dengan jarak pusat *diffuser* dengan pusat turbin 70 cm. Tanda hijau merupakan daerah posisi *diffuser*. Nilai kecepatan u_2 diambil tepat pada garis lurus sejajar dengan pusat turbin, kecepatan u_1 dan u_3 diambil pada jarak 10 cm disamping garis lurus sejajar dengan pusat turbin (atas dan bawah, pada gambar).



Gambar 4.2 Pengambilan data profil peningkatan kecepatan aliran



Gambar 4.3 Profil peningkatan kecepatan aliran pada *diffuser*
(a) model I (b) model II (c) model III (d) model IV

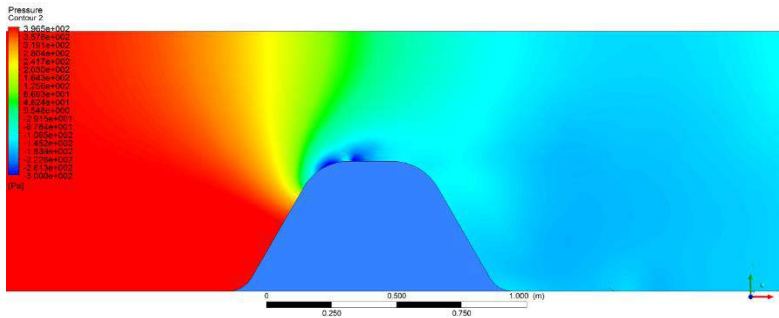
Kecepatan aliran mulai mengalami peningkatan pada *diffuser* saat terjadi penyempitan penampang yang dilewati oleh aliran. Hal tersebut terlihat pada u1 dan u2 pada *diffuser* model I, model II, model III dan model IV yang mengalami peningkatan secara drastis. Pada *diffuser* model I peningkatan kecepatan aliran tertinggi di daerah sekitar turbin pada u1 sebesar 2.30 kali, pada u2 sebesar 1.10, pada u3 sebesar 0.54 kali. Pada *diffuser* model II peningkatan kecepatan aliran tertinggi di daerah sekitar turbin pada u1 sebesar 2.10 kali, pada u2 sebesar 1.33 kali, pada u3 sebesar 0.26 kali. Pada *diffuser* model III peningkatan kecepatan aliran tertinggi di daerah sekitar turbin pada u1 sebesar 1.93 kali, pada u2 sebesar 1.54 kali, pada u3 sebesar 0.39 kali. Pada *diffuser* model IV peningkatan kecepatan aliran tertinggi di daerah sekitar turbin pada u1 sebesar 1.76 kali, pada u2 sebesar 1.62 kali, pada u3 sebesar 0.48 kali.

Pada *diffuser* model I kecepatan aliran u1 mengalami peningkatan tertinggi jika dibandingkan dengan u2. Pada *diffuser* model IV kecepatan aliran u1 mengalami peningkatan yang hampir sama dengan u2. Perbedaan peningkatan kecepatan aliran pada u1, u2 dan u3 tersebut akan membuat persebaran kecepatan menjadi tidak merata saat mengenai *blade* dan *shaft* turbin.

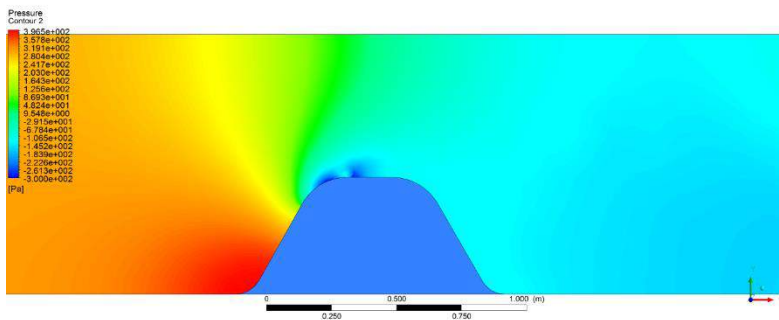
Peningkatan kecepatan aliran pada *diffuser* disebabkan oleh penyempitan penampang yang dilewati oleh aliran. Berdasarkan Hukum Kontinuitas bahwa jika luas penampang yang dilewati aliran fluida mengalami penyempitan maka akan terjadi peningkatan kecepatan aliran fluida. Dari keempat kontur kecepatan pada *diffuser* model tersebut terlihat bahwa peningkatan kecepatan aliran tertinggi terjadi pada model *diffuser* yang mempunyai lebar paling besar yaitu pada *diffuser* model I. *Diffuser* model I mengakibatkan penyempitan luas penampang yang dilalui aliran fluida yang lebih besar jika dibandingkan dengan *diffuser* model II, III dan IV.

4.2.2 Profil Tekanan Aliran

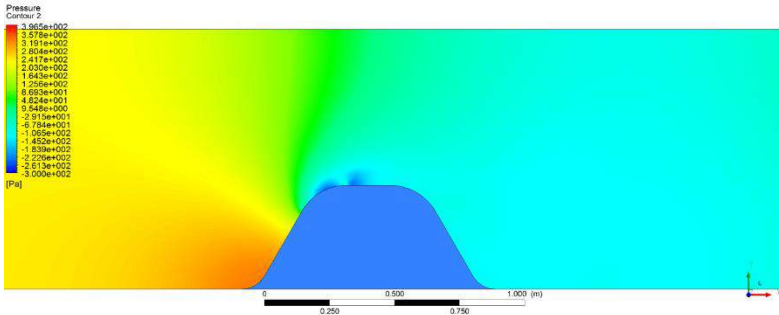
Peningkatan kecepatan aliran yang terjadi pada *diffuser* juga dipengaruhi oleh perbedaan tekanan yang terjadi pada aliran fluida. Aliran bergerak dari tekanan tinggi menuju tekanan yang rendah. Semakin tinggi perbedaan tekanan maka semakin tinggi pula kecepatan aliran yang terjadi. Untuk mengetahui kontur tekanan yang terjadi pada *diffuser* dapat dilihat pada Gambar 4.4. Kontur tekanan pada *diffuser* diujikan dalam kondisi kecepatan aliran yang masuk sebesar 0.5 m/s.



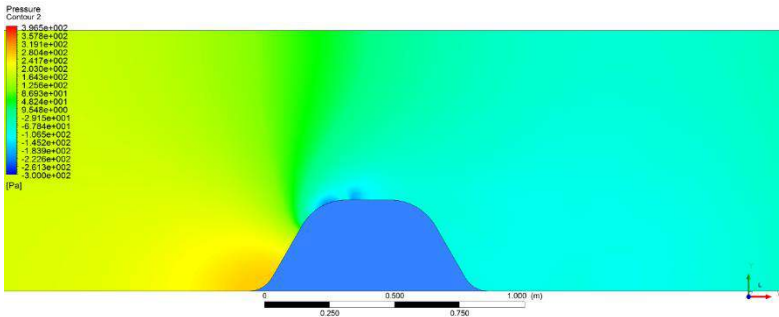
(a)



(b)



(c)



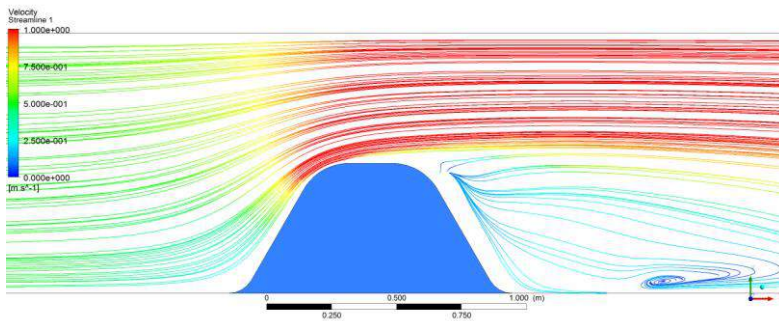
(d)

Gambar 4.4 Kontur tekanan pada *diffuser*
 (a) model I (b) model II (c) model III (d) model IV

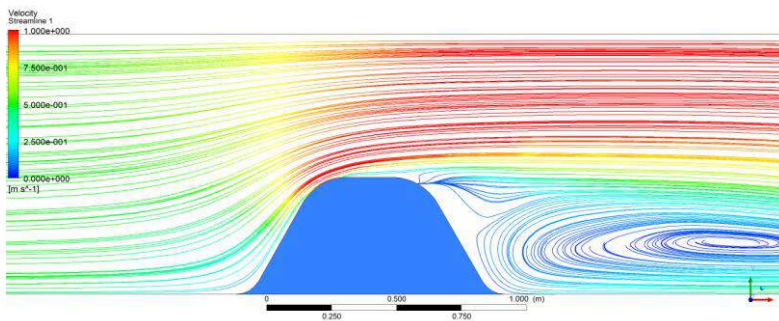
Diffuser model I terjadi peningkatan tekanan yang tinggi pada bagian *upstream* sedangkan pada *diffuser* model IV terjadi peningkatan tekanan namun tidak sebesar *diffuser* model I. Semakin lebar *diffuser* maka tekanan yang berada pada *upstream* akan meningkat. Peningkatan tekanan pada bagian *upstream* tersebut disebabkan karena hambatan aliran oleh *diffuser*. Hambatan tersebut akan menyebabkan tekanan pada bagian *upstream* akan mengalami peningkatan. Perbedaan tekanan pada *upstream* dan *downstream* tersebut akan mempengaruhi kecepatan aliran yang melewati *diffuser*.

4.2.3 Profil Pola Aliran

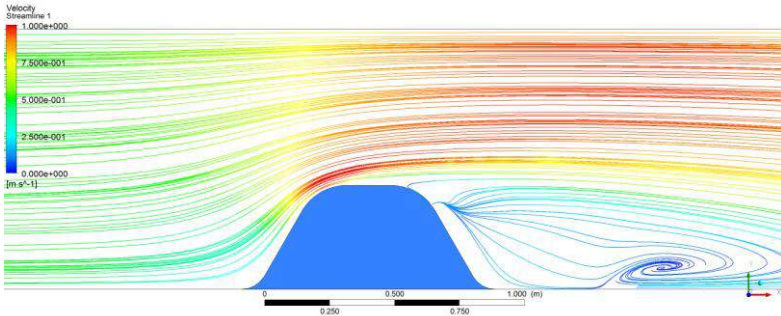
Pola aliran air yang mengalir melewati *diffuser* berpengaruh terhadap kinerja turbin. Untuk mengetahui kontur *streamline* yang terjadi pada *diffuser* dapat dilihat pada Gambar 4.5. Profil aliran pada *diffuser* diujikan dalam kondisi kecepatan aliran yang masuk sebesar 0.5 m/s.



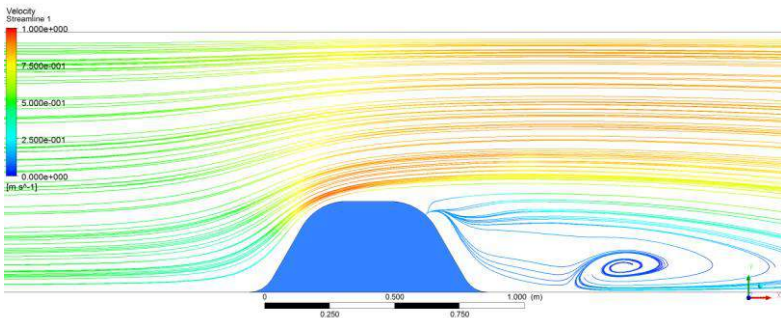
(a)



(b)



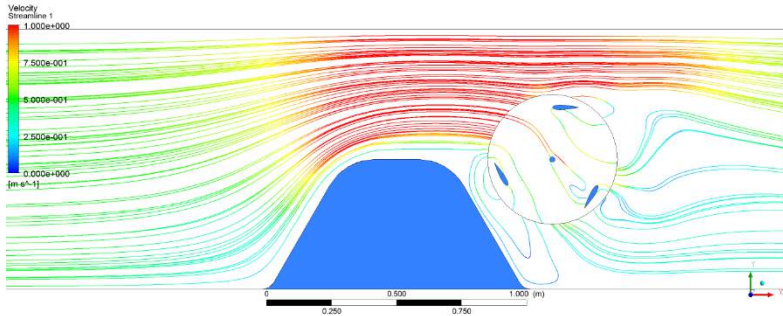
(c)



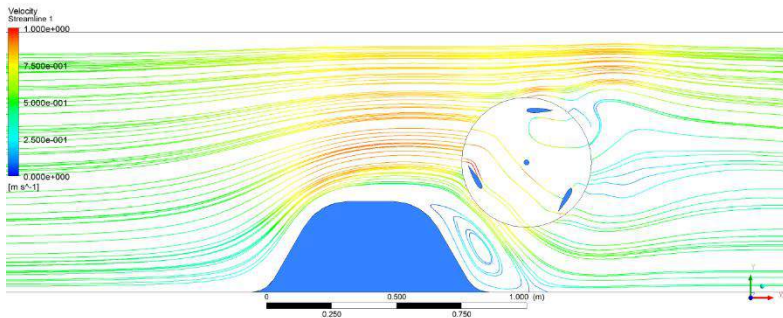
(d)

Gambar 4.5 Kontur *streamline* pada *diffuser*
(a) model I (b) model II (c) model III (d) model IV

Pola aliran yang melewati *diffuser* menghasilkan pusaran atau *vortex* pada daerah *downstream* tepat pada belakang *diffuser*. Pada Gambar 4.5 terlihat bahwa *diffuser* dengan model I terjadi *vortex* yang luas jika dibandingkan dengan yang terjadi pada *diffuser* model II, III dan IV. Daerah yang terjadi *vortex* mempunyai tingkat turbulensi tinggi. Hal tersebut dapat menyebabkan penurunan efektifitas kinerja dari turbin serta mampu membahayakan turbin. Pola aliran pada turbin menggunakan *diffuser* dapat dilihat pada Gambar 4.6.



(a)



(b)

Gambar 4.6 Pola aliran pada turbin menggunakan *diffuser*
(a) model I (b) model IV

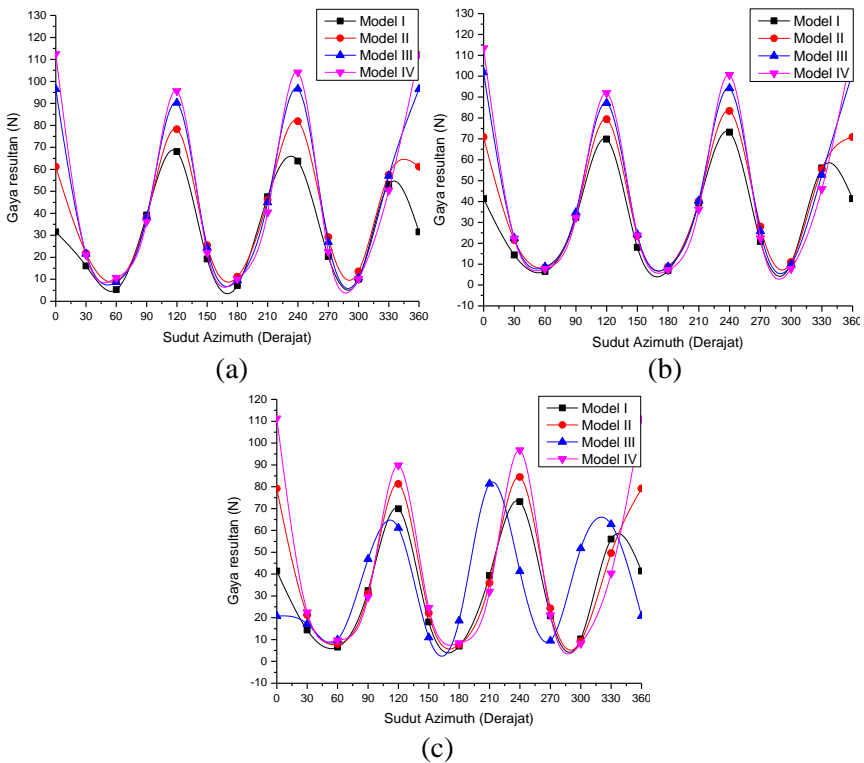
Pada Gambar 4.6. terlihat bahwa putaran turbin pada *diffuser* model I dipengaruhi oleh *vortex* yang terjadi pada belakang *diffuser* hingga mengenai *blade*, sedangkan *diffuser* model IV putaran turbin tidak begitu banyak dipengaruhi oleh *vortex*.

4.3 Gaya dan Torsi yang Dihasilkan Turbin

Sebuah turbin yang berputar akibat aliran akan menghasilkan gaya dan torsi pada setiap blade dan shaft. Terdapat tiga arah gaya dan torsi yang dihasilkan oleh setiap *blade* dan *shaft* turbin yaitu searah sumbu x, sumbu y dan sumbu z. Gaya searah sumbu z merupakan gaya yang menghasilkan getaran turbin secara vertikal. Nilai gaya searah sumbu z relatif kecil sehingga bisa diabaikan.

Nilai gaya searah sumbu z yang terlalu besar akan membahayakan turbin akibat getaran yang terlalu besar. Oleh karena itu gaya total yang dihasilkan oleh turbin merupakan resultan antara gaya yang searah sumbu x dan sumbu y.

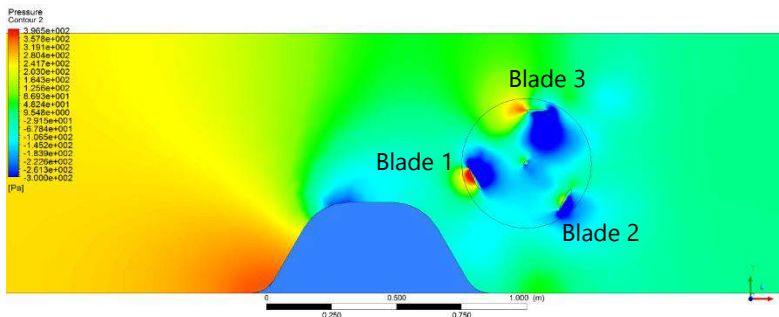
Pada penelitian ini dilakukan pengujian peletakan turbin dengan jarak peletakan antara pusat turbin dengan pusat *diffuser* sebesar 60 cm, 70 cm dan 80 cm pada setiap model *diffuser*. Untuk melihat pola gaya resultan yang dihasilkan oleh turbin dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pola gaya resultan pada jarak peletakan turbin
(a) 60 cm (b) 70 cm (c) 80 cm

Pola gaya resultan yang dihasilkan turbin secara umum mempunyai pola nilai yang berulang berupa bukit dan lembah dalam satu putaran. Perubahan nilai pada kondisi gaya resultan tertinggi dan gaya resultan terendah berulang sebanyak 3 kali yaitu pada saat posisi sudut azimuth 0 hingga 115 derajat, posisi sudut azimuth 120 hingga 235 derajat dan posisi sudut azimuth 240 hingga 355 derajat. Pola perubahan tersebut disebabkan oleh turbin yang mempunyai 3 *blade*. Pada saat posisi sudut azimuth tersebut setiap *blade* mendapatkan aliran yang sama sehingga menyebabkan setiap *blade* mendapatkan tekanan yang sama pula. Tekanan yang sama tersebut mengakibatkan gaya resultan yang dihasilkan oleh setiap *blade* relatif sama.

Pada Gambar 4.7 terlihat bahwa rata-rata turbin mendapatkan gaya tertinggi pada saat posisi sudut azimuth 120 derajat, 240 derajat dan 360 derajat. Hal tersebut disebabkan oleh tekanan total yang didapatkan oleh setiap *blade* cukup besar pada posisi sudut azimuth tersebut. Begitu pula sebaliknya, pada saat sudut azimuth 60 derajat, 180 derajat dan 300 derajat oleh tekanan total yang didapatkan oleh setiap *blade* cukup kecil pada posisi sudut azimuth tersebut. Untuk melihat tekanan yang dihasilkan oleh *blade* pada saat posisi sudut azimuth 120 derajat dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kontur tekanan yang dihasilkan turbin pada saat posisi sudut azimuth 120 derajat

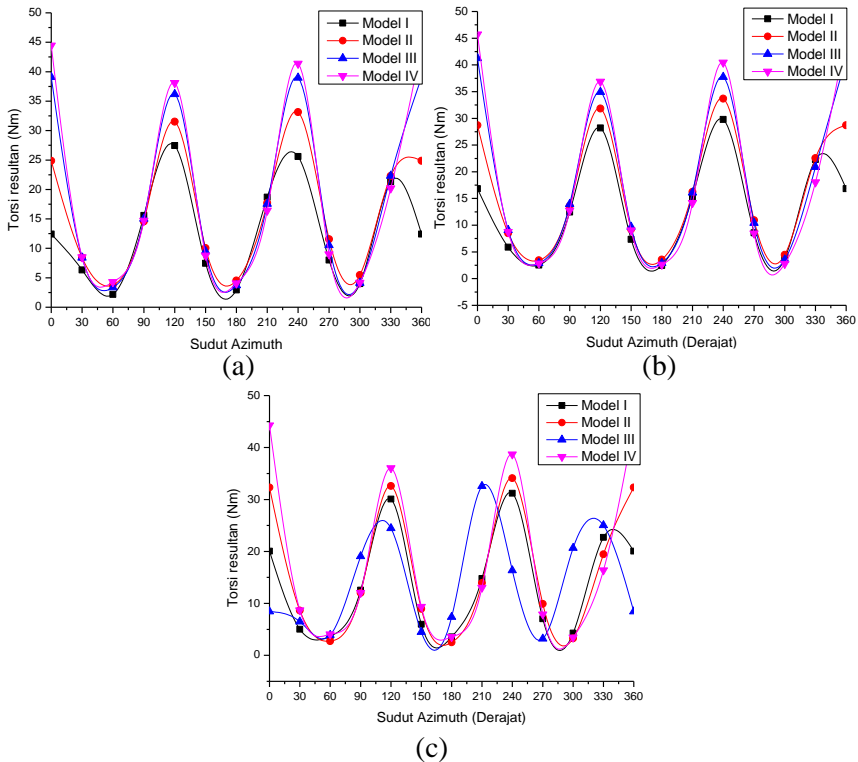
Gambar 4.8 menunjukkan kontur tekanan pada saat menggunakan *diffuser* model IV dan jarak peletakan antara pusat

turbin dengan pusat *diffuser* 60 cm dengan kecepatan 0.5 m/s. Pada posisi sudut azimuth 120 derajat nilai tekanan maksimum yang dihasilkan oleh *blade* 1 sebesar 3000 Pa, *blade* 2 sebesar 569 Pa dan *blade* 3 sebesar 944 Pa. *Blade* 1 mendapatkan tekanan tertinggi karena posisi *blade* 1 berada pada daerah yang langsung mendapatkan aliran *upstream* dan belum mendapatkan *wake* yang dihasilkan oleh *blade* lain selain itu posisi *blade* 1 dalam kondisi penampang *blade* yang mendapatkan aliran langsung lebih luas sehingga gaya yang didapatkan lebih besar. *Blade* 2 mendapatkan tekanan yang kecil disebabkan karena posisi *blade* 2 yang berada pada daerah yang kecepatan rendah dan tidak mendapatkan aliran secara langsung dari upstream. Aliran yang didapatkan oleh *blade* 2 juga terpengaruh dari aliran yang telah melewati *blade* 1 sehingga mendapatkan *wake* dan kecepatan rendah. *Blade* 3 mendapatkan tekanan yang tinggi dibandingkan dengan *blade* 2, posisi *blade* 3 berada pada daerah yang mempunyai kecepatan aliran yang tinggi namun posisi penampang *blade* yang mendapatkan aliran langsung tidak luas sehingga gaya yang dihasilkan tidak lebih besar jika dibandingkan dengan *blade* 1. Nilai total tekanan yang besar pada ketiga *blade* tersebut menyebabkan gaya resultan yang dihasilkan oleh turbin pada saat sudut azimuth tersebut relatif besar.

Pada saat posisi sudut azimuth 240 derajat dan 360 derajat gaya yang dihasilkan akan hampir sama dengan saat posisi sudut azimuth 120. Begitu pula pada saat posisi sudut azimuth 180 derajat dan 300 derajat gaya yang dihasilkan akan hampir sama dengan saat posisi sudut azimuth 60 derajat. Hal tersebut disebabkan oleh putaran *blade* pada porosnya sehingga akan menempati posisi *blade* lain dengan formasi yang sama. Kondisi tersebut akan menyebabkan pola tekanan yang dihasilkan oleh turbin akan berulang sehingga gaya resultan yang dihasilkan hampir sama pula.

Pada dasarnya gaya resultan yang dihasilkan oleh setiap *blade* dan shaft akan sebanding dengan torsi resultan yang dihasilkan. Hal tersebut disebabkan karena secara teoritis torsi merupakan fungsi gaya. Hasil torsi resultan yang dihasilkan turbin mempunyai pola yang mirip dengan resultan gaya yang dihasilkan turbin.

Untuk melihat pola torsi resultan yang dihasilkan oleh turbin dapat dilihat pada Gambar 4.9.

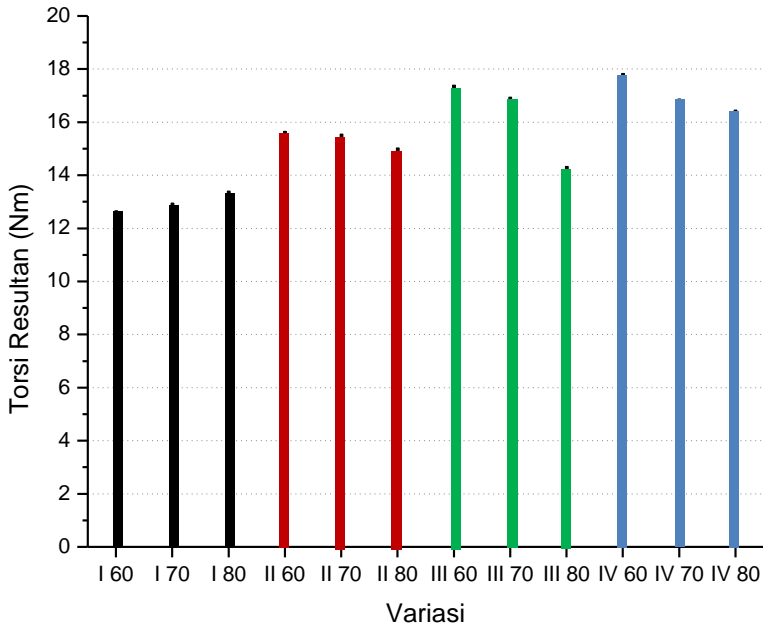


Gambar 4.9 Pola torsi resultan pada jarak peletakan turbin
(a) 60 cm (b) 70 cm (c) 80 cm

4.3.1 Pengaruh Model dan Posisi Turbin

Pola gaya dan torsi resultan yang dihasilkan oleh turbin pada Gambar 4.7 dan 4.9 dengan jarak peletakan turbin 60 cm, 70 cm dan 80 cm terlihat bahwa *diffuser* model IV mempunyai kecenderungan torsi resultan yang dihasilkan oleh turbin lebih besar dibandingkan dengan model *diffuser* yang lain. Untuk melihat perbandingan torsi resultan yang dihasilkan oleh turbin

pada model dan jarak peletakan pada kecepatan 0.5 m/s dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Torsi yang dihasilkan oleh turbin

Diffuser model IV mempunyai torsi resultan yang dihasilkan oleh turbin lebih besar dibandingkan dengan *diffuser* model lain. Hal tersebut disebabkan *diffuser* model IV mempunyai persebaran peningkatan kecepatan aliran yang lebih merata pada setiap *blade* dan *shaft* turbin walaupun *diffuser* model IV tidak menghasilkan peningkatan kecepatan yang tinggi jika dibandingkan dengan *diffuser* model I, II dan III.

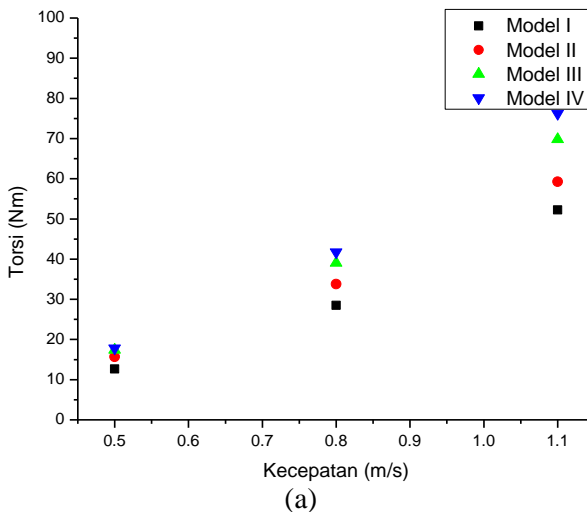
Posisi peletakan turbin juga berpengaruh pada torsi resultan yang dihasilkan oleh turbin. Pada peletakan turbin dengan jarak antara pusat turbin dengan pusat *diffuser* 60 cm mempunyai kecenderungan torsi resultan yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan jarak peletakan 70 cm dan 80 cm seperti pada *diffuser* model II, III dan IV. Hal tersebut disebabkan pada posisi jarak 60 cm turbin mendapatkan kecepatan aliran yang lebih tinggi

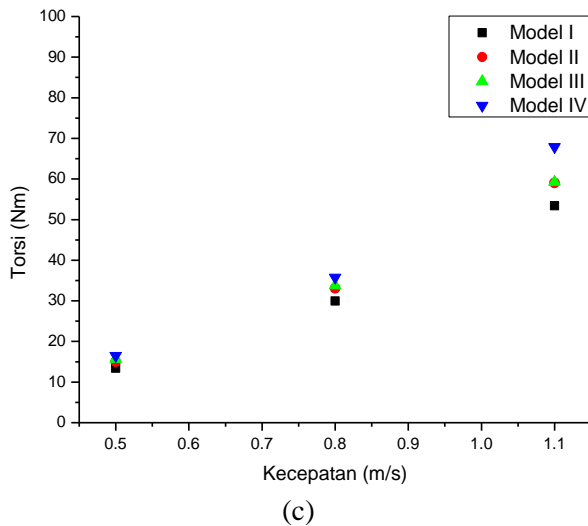
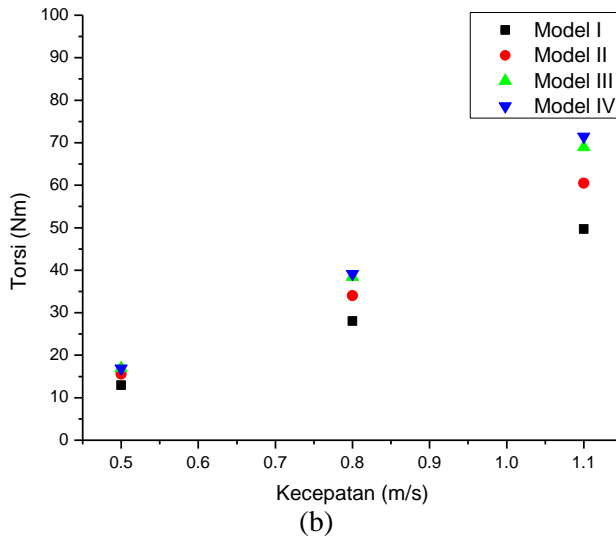
dibandingkan dengan jarak 70 cm dan 80 cm. Semakin jauh peletakan turbin dengan *diffuser* maka kecepatan aliran akan semakin berkurang.

Pada kondisi tertentu seperti pada *diffuser* model I peletakan turbin yang semakin jauh dengan *diffuser* torsi resultan yang dihasilkan semakin bertambah. Pada jarak peletakan 80 cm menghasilkan torsi resultan yang dihasilkan lebih besar daripada jarak peletakan 70 cm dan 60 cm. Hal tersebut disebabkan pada *diffuser* model I kontur kecepatan aliran pada jarak peletakan 80 cm lebih tinggi jika dibandingkan dengan pada jarak peletakan 70 cm dan 60 cm. Selain itu torsi resultan yang dihasilkan turbin tidak hanya dipengaruhi oleh kecepatan aliran yang mengenai *blade* dan *shaft* namun juga dipengaruhi oleh luas sapuan turbin yang dikenai oleh kecepatan aliran tersebut. Untuk melihat kontur kecepatan aliran dan peningkatan kecepatan aliran dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.3.

4.3.2 Pengaruh Kecepatan Aliran

Untuk melihat pengaruh kecepatan aliran terhadap torsi yang dihasilkan turbin dapat dilihat pada Gambar 4.11.





Gambar 4.11 Pengaruh torsi yang dihasilkan turbin terhadap kecepatan aliran pada jarak peletakan turbin
(a) 60 cm (b) 70 cm (c) 80 cm

Secara teori didapatkan bahwa gaya yang dihasilkan oleh turbin ditentukan oleh massa jenis fluida yang mengalir, luas sapuan yang mengenai turbin dan pangkat dua dari kecepatan. Sehingga jika turbin dikenai fluida dengan kecepatan yang tinggi, maka gaya yang dihasilkan oleh turbin semakin besar pula. Kenaikan gaya tersebut juga akan berpengaruh terhadap torsi resultan yang dihasilkan oleh turbin. Pada Gambar 4.11. terlihat bahwa torsi resultan yang dihasilkan saat kecepatan semakin tinggi maka torsi akan semakin besar.

4.4 Diskusi

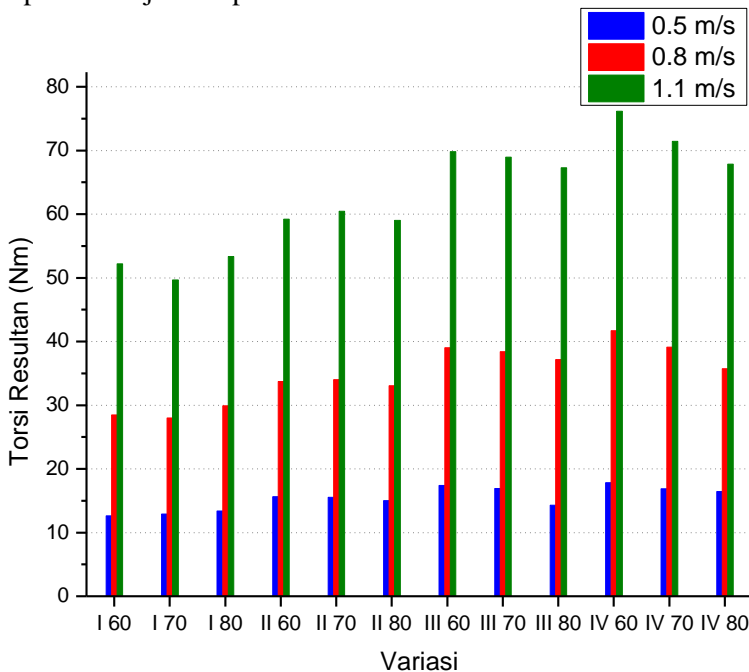
Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja dari sebuah turbin adalah meningkatkan kecepatan aliran yang mengenai *blade* dan *shaft*. Kecepatan aliran yang mengenai *blade* dan *shaft* dapat ditingkatkan dengan penambahan *diffuser*. Besarnya kecepatan aliran sangat berpengaruh terhadap gaya dan torsi yang dihasilkan turbin. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak energi yang mampu diekstrak oleh turbin.

Diffuser model I menghasilkan peningkatan kecepatan aliran yang tinggi jika dibandingkan dengan *diffuser* model II, III dan IV. Peningkatan kecepatan aliran tersebut disebabkan oleh penyempitan luas penampang yang dilewati oleh aliran akibat semakin melebarnya *diffuser*. Selain itu dengan semakin lebar *diffuser* akan mengakibatkan peningkatan tekanan pada bagian upstream sehingga aliran akan mengalami percepatan menuju pada tekanan yang lebih rendah. Semakin lebar *diffuser* mempunyai kecenderungan menghasilkan *vortex* yang lebih luas. *Vortex* yang muncul akan mengganggu putaran dari turbin dan proses ekstraksi energi.

Nilai gaya resultan yang dihasilkan oleh turbin sangat berpengaruh terhadap torsi resultan yang dihasilkan oleh turbin. Gaya resultan merupakan yang dihasilkan oleh turbin yang terdiri dari gaya searah sumbu x, gaya searah sumbu y dan searah sumbu z. Nilai gaya searah sumbu z yang terlalu besar akan membahayakan turbin. Oleh karena itu gaya total yang dihasilkan

oleh turbin merupakan resultan antara gaya yang searah sumbu x dan sumbu y.

Pada penelitian ini terdapat 36 variasi variabel untuk dilihat pengaruhnya terhadap kinerja turbin, yaitu 4 variasi model *diffuser*, yaitu model I, model II, model III dan model IV, 3 variasi jarak peletakan antara pusat turbin dengan pusat *diffuser* 60 cm, 70 cm dan 80 cm serta 3 variasi kecepatan aliran yaitu 0.5 m/s, 0.8 m/s dan 1.1 m/s. Pada simulasi dilakukan pengambilan data berupa profil kecepatan aliran, tekanan, gaya searah sumbu x, gaya searah sumbu y, torsi searah sumbu x dan torsi searah sumbu y. Dari seluruh variasi model *diffuser*, jarak peletakan turbin dan kecepatan aliran maka didapatkan torsi resultan keseluruhan seperti ditunjukkan pada Gambar 4.12.



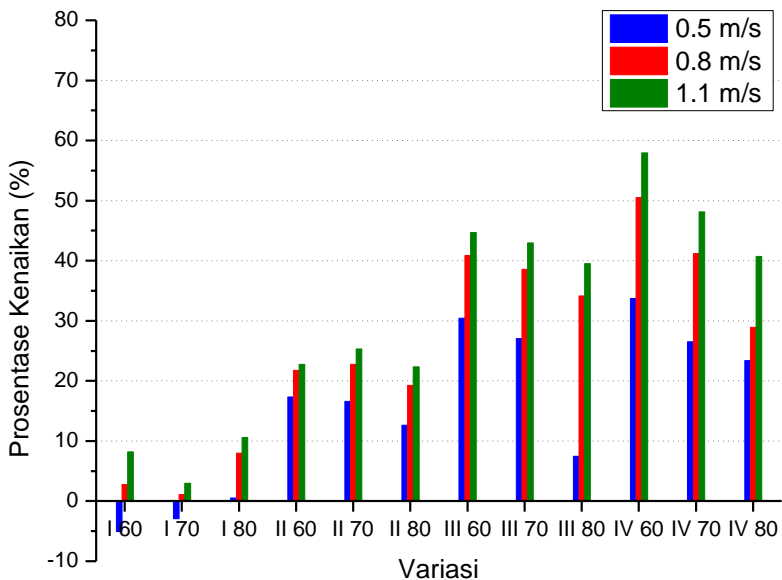
Gambar 4.12 Perbandingan torsi resultan yang dihasilkan dari berbagai variasi *diffusser*

Dari perbandingan tersebut terlihat bahwa nilai torsi yang dihasilkan bervariasi setiap perubahan model *diffuser* dan jarak peletakan turbin. Untuk model *diffuser* yang mempunyai lebar yang besar yaitu pada *diffuser* model I akan menghasilkan peningkatan torsi yang rendah jika dibandingkan dengan model *diffuser* yang mempunyai lebar yang kecil. Hal tersebut disebabkan persebaran peningkatan kecepatan aliran tidak merata pada blade dan shaft turbin sehingga gaya dan torsi yang dihasilkan tidak terlalu besar. Kecepatan aliran tinggi hanya didapatkan pada setengah sapuan luasan turbin, sedangkan pada *diffuser* yang mempunyai lebar yang lebih kecil tidak menghasilkan peningkatan kecepatan yang tinggi namun sedikit peningkatan tersebut mampu diterima oleh turbin secara merata.

Pada variasi jarak nilai torsi resultan yang dihasilkan oleh turbin dipengaruhi oleh dua hal yaitu distribusi kecepatan dan luasan sapuan turbin yang dikenai aliran. Semakin dekat dengan pusat *diffuser* maka turbin akan mendapatkan kecepatan yang tinggi namun luas sapuan turbin yang dikenai kecepatan aliran yang tinggi lebih sempit. Sebaliknya semakin jauh dengan pusat *diffuser* maka kecepatan aliran menurun namun luas sapuan turbin yang mendapatkan aliran tinggi cukup merata pada turbin. Gaya dan torsi yang dihasilkan oleh turbin dipengaruhi oleh kecepatan aliran dan luas sapuan turbin yang terkena aliran. Oleh karena hal tersebut maka torsi yang dihasilkan dapat bervariasi setiap jarak peletakannya.

Pada variasi kecepatan menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan aliran maka dihasilkan torsi yang semakin besar. Pada Gambar 1.1 terlihat bahwa pada kecepatan aliran 1.1 m/s selalu menghasilkan torsi resultan yang besar dibandingkan dengan kecepatan aliran 0.5 m/s dan 0.8 m/s. Torsi resultan yang dihasilkan saat kecepatan makin tinggi maka torsi akan semakin besar. Hubungan antara kecepatan aliran dengan nilai torsi resultan yang dihasilkan oleh turbin tidak linier namun kuadratik. Secara teoritis penurunan persamaan torsi $T = \frac{1}{2} \rho A V^2 R$ didapatkan bahwa nilai torsi sebanding dengan V^2 .

Dari Gambar 4.12. terlihat bahwa torsi resultan yang dihasilkan oleh turbin bervariasi. Jika dibandingkan dengan kondisi turbin tanpa menggunakan *diffuser* terdapat peningkatan dan penurunan torsi resultan yang dihasilkan. Untuk melihat peningkatan torsi yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.13. Pada penelitian ini terdapat 36 variasi variabel untuk dilihat pengaruhnya terhadap kinerja turbin, yaitu 4 variasi model *diffuser*, yaitu model I, model II, model III dan model IV,



Gambar 4.13 Perbandingan peningkatan torsi resultan yang dihasilkan dari berbagai variasi *diffuser*

Pada Gambar 4.13 terlihat bahwa diffuser model IV mampu torsi meningkat dengan sangat signifikan antara 40.75% hingga 57.95%. Sedangkan pada diffuser model I torsi resultan mengalami peningkatan namun juga mengalami penurunan. Penurunan torsi terjadi pada jarak peletakan turbin 60 cm dan 70 cm pada kecepatan aliran 0.5 m/s.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, analisa, dan pembahasan maka kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Diffuser* model I menghasilkan *vortex* yang luas jika dibandingkan model lain. Semakin lebar *diffuser* maka pola *vortex* yang dihasilkan semakin luas.
2. *Diffuser* model I terjadi peningkatan kecepatan aliran dan tekanan pada bagian upstream yang tinggi jika dibandingkan model lain. Peningkatan kecepatan aliran tertinggi yang terjadi pada *diffuser* model I sebesar 2.3 kali, pada model II sebesar 2.1 kali, pada model III sebesar 1.93 kali dan pada model IV sebesar 1.76 kali.
3. *Diffuser* model IV mampu meningkatkan torsi resultan lebih tinggi dibanding tanpa *diffuser*, model II, III dan IV. Peningkatan tertinggi terjadi pada jarak peletakan turbin 60 cm sebesar 57.95 % pada kecepatan 1.1 m/s. Peletakan turbin yang semakin dekat dengan *diffuser* kecenderungan menghasilkan torsi resultan lebih tinggi karena mendapatkan kecepatan aliran yang tinggi, namun luas sapuan turbin yang mendapatkan kecepatan aliran tinggi menjadi lebih sempit.
4. Keuntungan turbin jenis Darrieus Straight Bladed adalah desain yang sederhana sehingga mudah dalam pembuatan dan perawatan, mampu mengekstrak energi dari segala arah, tidak memerlukan mekanisme ekor dan *yaw control* dan cocok pada perairan dengan kecepatan aliran rendah. Sedangkan kekurangannya adalah *self starting* yang buruk serta koefisien daya yang rendah dibandingkan dengan jenis HAT.

5.2 Saran

Saran pada penelitian ini adalah pengembangan lebih lanjut dari bentuk geometri *diffuser* serta meneliti pengaruhnya terhadap kinerja jenis turbin lain. Pengembangan dapat dilakukan dengan cara eksperimen maupun simulasi

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, John D. 1995. Computational Fluid Dynamics: basics with applications. Singapore: McGraw-Hill Book Companies, Inc..
- Asmus, P., Wheelock, C. 2009. Hydrokinetic and Ocean Energy.
- Betz, A., 1920. Das Maximum der theoretisch möglichen Ausnützung des Windes durch Windmotoren. Zeitschrift für das gesamte Turbinenwesen. 26, 26 September 1920.
- Bhutta, M. 2012. Vertical Axis Wind Turbine - A Review of Various Configurations and Design Techniques. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 1926-1939.
- Coste, J. D., Smith, A., White D., Berkvens, D., Crawford, J. 2004. Self Starting Darrieus Wind Turbine. Halifax : Dalhousie University.
- El-Sayed, A. F A. A., Hirisch, C., Derdelinckx, R. 1995. Dynamics of Vertical Axis Wind Turbines (Darrieus Type). International Journal of Rotating Machinery , 33-41.
- Gunawan, M. G. A., Hantoro, R., Hamidah, N. 2014. Studi Eksperimental Mekanisme Passive Pitch dengan Flapping Wing pada Turbin Vertikal Aksis Tipe Darrieus. Surabaya : ITS Surabaya
- Guney, M. S., 2011. Evaluation and Measures to Increase Performance Coefficient of Hydrokinetic Turbines. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 3669–3675.
- Hassan, H. F., El-Shafie, A., Karim, O. A. 2012. Tidal Current Turbines Glance at The Past and Look Into Future Prospect in Malaysia. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 2707-2717.
- Islam, M., David, Ting, Fahrtaaj A. 2008. Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12, 1087–1109.
- Khalid, S. S., Liang, Z., Qi-hu, S., Xue., Zhang. 2013. Difference between Fixed and Variable Pitch Vertical Axis Tidal Turbine-Using CFD Analysis in CFX. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 5(1), 319-325

- Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal M. T., Quaicoe J.E. 2009. Hydrokinetic Energy Conversion Systems and Assessment of Horizontal and Vertical Axis Turbines for River and Tidal Applications A Technology Status Review. *Applied Energy* 86, 1823–1835.
- Khan M. J., Iqbal M. T., Quaicoe J. E. 2009. A Technology Review and Simulation Based Performanc Analysis of River Current Turbine Systems. Canada Memorial University of Newfoundland.
- Malipeddi, A.R, Chatterjee, D. 2012. Influence of Duct Geometry on The Performance of Darrieus Hydroturbine. *Renewable Energy* 43, 292-300.
- Molina, S., Salvador, F. J., Carrere, M., Jaranillo, D. 2014. A Computational investigation on the influence of the use of elliptical orifices on the inner nozzle flow and cavitation development in diesel injector nozzles. *Energy Conversion and Management* 79, 114-127
- Munson, B. R., Young D. F., Okiishi T.H. 2002. *Fundamental of Fluids Mechanic* 2nd edition. John Wiley & son, Inc Canada By.
- Oberkampf, W. L, Trucano, T. G, 2002. Varification and validation in computational fluid dynamics. *Progress in Aerospace Sciences* 38, 209–272
- Paraschivoiu, I. 2002. *Wind Turbine Design With Emphasis on Darrieus Concept*. 1st penyunt. Canada: National Library of Canada.
- Ponta F., Jacovkis P. M. 2008. Marine Current Power Generation by Diffuser Augmented Floating Hydro Turbines. *Renewable Energy* 33, 665-673.
- Setoguchi T., Shiomi N., Kaneko K. 2004. Development of Two Way Diffuser for Fluid Energy Conversion System. *Renewable Energy* 29, 1757–1771.
- Susilo, Hantoro, R., Hamidah, N. 2014. Simulasi Mekanisme Passive-Pitch dengan Flapping Wing pada Turbin Vertikal Aksis Arus Sungai Jenis Darrieus Straight Blade Berbasis CFD. Surabaya : ITS Surabaya

- Twidell, J., Weir, T. 2006. Renewable Energy Resource, second edition. London and NY: Taylor & Francis.
- Zobaa A. F., Bansal R. C., 2011. Handbook of Renewable Energy Technology. World Scientific Publishing Company.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN IA.1

Nilai torsi pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-8.28	-4.04	7.51	-9.70	1.72	2.81	-2.19	-1.43	-1.24	-12.37	12.43
30	-3.38	-3.36	0.02	0.32	0.34	-0.40	-0.86	-1.55	-3.88	-5.00	6.33
60	-0.32	-0.30	0.57	-0.11	0.01	-0.60	-0.53	-1.16	-0.27	-2.17	2.19
90	-1.16	-11.36	-2.87	-3.12	-2.36	1.52	-0.63	-0.95	-7.03	-13.91	15.58
120	7.54	-10.73	-5.02	-12.68	-9.72	-2.02	-0.82	-0.84	-8.02	-26.27	27.46
150	0.32	0.16	-0.27	-1.56	-3.58	-3.42	-1.01	-1.10	-4.54	-5.91	7.45
180	-0.08	-0.03	-0.04	0.21	-1.23	-0.26	-1.21	-1.37	-2.56	-1.46	2.95
210	-4.36	-4.83	-2.05	2.08	-1.50	-12.32	-1.36	-1.17	-9.27	-16.24	18.70
240	-2.59	-7.46	-19.29	-3.24	5.26	-6.26	-1.51	-1.10	-18.13	-18.06	25.59
270	0.79	-2.11	-4.83	-3.36	0.54	0.82	-1.69	-1.46	-5.18	-6.11	8.01
300	0.12	0.87	-1.93	-0.14	-0.26	0.40	-1.88	-1.78	-3.94	-0.66	3.99
330	-6.22	4.03	-1.33	-11.22	-5.68	-6.25	-1.96	-1.54	-15.19	-14.98	21.33
360	-8.28	-4.04	7.51	-9.70	1.72	2.81	-2.19	-1.43	-1.24	-12.37	12.43

Nilai gaya pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	10.17	-18.24	24.90	19.32	-7.06	4.14	3.55	-5.53	31.56	-0.31	31.56
30	8.74	-8.94	-0.82	0.13	0.72	0.93	3.87	-2.15	12.51	-10.03	16.04
60	0.54	-0.80	0.08	1.40	1.73	0.06	2.90	-1.32	5.25	-0.66	5.29
90	28.98	-2.99	7.79	-7.30	-4.10	-5.82	2.37	-1.58	35.05	-17.70	39.26
120	26.37	18.59	31.70	-12.59	5.00	-23.66	2.09	-2.05	65.16	-19.71	68.07
150	-0.40	0.75	3.60	-0.64	9.20	-9.49	2.73	-2.52	15.13	-11.90	19.25
180	-0.09	-0.24	-0.48	-0.13	0.34	-3.00	3.42	-3.02	3.20	-6.38	7.14
210	12.03	-11.16	-5.06	-4.79	31.55	-3.88	2.91	-3.41	41.44	-23.23	47.50
240	18.54	-6.50	8.00	-48.21	15.60	13.17	2.72	-3.79	44.86	-45.33	63.77
270	4.75	2.04	8.94	-12.70	-2.11	1.36	3.61	-4.21	15.20	-13.51	20.33
300	-2.17	0.20	-0.01	-4.73	-1.05	-0.73	4.43	-4.69	1.20	-9.96	10.03
330	-10.18	-15.44	28.82	-3.35	15.14	-13.94	3.85	-4.91	37.63	-37.64	53.22
360	10.17	-18.24	24.90	19.32	-7.06	4.14	3.55	-5.53	31.56	-0.31	31.56

LAMPIRAN IA.2

Nilai torsi pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-38.39	-8.18	16.22	-20.89	-1.50	-1.46	-3.30	-3.01	-26.96	-33.55	43.04
30	-7.21	-6.02	-0.66	0.93	0.78	-2.09	-2.05	-3.78	-9.14	-10.97	14.28
60	-0.76	-0.19	0.70	-0.13	0.50	-1.28	-1.36	-2.90	-0.92	-4.50	4.60
90	-2.55	-24.82	-7.91	-7.61	-3.93	2.54	-1.67	-2.28	-16.06	-32.17	35.95
120	12.82	-16.79	-12.88	-30.60	-22.68	-4.07	-2.11	-2.16	-24.85	-53.61	59.09
150	0.11	0.80	0.50	-4.55	-8.83	-5.96	-2.68	-3.07	-10.91	-12.78	16.80
180	-0.47	0.23	0.90	-0.05	-3.23	0.02	-3.17	-3.61	-5.96	-3.41	6.87
210	-11.82	-11.97	-12.65	5.31	-3.21	-25.47	-3.23	-2.64	-30.92	-34.77	46.52
240	-2.63	-7.19	-30.18	-6.90	10.55	-11.46	-3.63	-2.76	-25.89	-28.31	38.36
270	3.00	-6.43	-11.80	-6.50	2.26	1.60	-4.22	-3.87	-10.75	-15.20	18.62
300	0.02	0.86	-4.49	-0.46	-0.54	1.18	-4.53	-4.67	-9.53	-3.09	10.02
330	-9.12	1.24	-1.59	-19.35	-3.84	-5.82	-3.92	-3.74	-18.46	-27.67	33.26
360	-38.39	-8.18	16.22	-20.89	-1.50	-1.46	-3.30	-3.01	-26.96	-33.55	43.04

Nilai gaya pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	20.42	-92.16	53.22	41.19	7.66	-5.50	7.78	-8.39	89.08	-64.85	110.19
30	15.27	-18.99	-2.28	-1.57	4.52	2.11	9.45	-5.12	26.97	-23.58	35.82
60	-0.01	-1.82	-0.05	1.69	3.65	1.30	7.23	-3.38	10.81	-2.21	11.03
90	63.43	-6.52	19.11	-20.14	-6.84	-9.64	5.66	-4.18	81.36	-40.47	90.87
120	41.10	31.59	76.53	-32.31	10.13	-54.77	5.32	-5.24	133.08	-60.73	146.28
150	-1.97	0.21	10.60	1.35	15.58	-23.32	7.61	-6.64	31.82	-28.41	42.65
180	-0.78	-1.28	0.34	2.15	-0.80	-7.79	8.97	-7.86	7.72	-14.78	16.67
210	29.76	-30.13	-13.28	-30.60	65.55	-8.21	6.54	-8.07	88.57	-77.01	117.37
240	17.87	-6.68	17.30	-72.09	29.28	27.00	6.79	-9.03	71.24	-60.80	93.65
270	14.43	7.99	16.68	-30.86	-4.17	5.82	9.60	-10.49	36.54	-27.54	45.76
300	-1.93	-0.56	0.26	-11.07	-2.98	-1.54	11.78	-11.36	7.13	-24.53	25.54
330	-3.64	-21.96	49.40	-3.82	14.16	-9.96	9.59	-9.91	69.50	-45.65	83.15
360	20.42	-92.16	53.22	41.19	7.66	-5.50	7.78	-8.39	89.08	-64.85	110.19

LAMPIRAN IA.3

Nilai torsi pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-96.27	-12.06	26.95	-37.97	-2.10	-4.49	-2.98	-4.24	-74.40	-58.76	94.81
30	-12.35	-9.36	-1.76	1.87	1.35	-4.76	-3.74	-6.98	-16.50	-19.24	25.34
60	-1.42	0.19	0.74	-0.06	1.29	-2.10	-2.61	-5.44	-2.01	-7.40	7.67
90	-4.30	-42.76	-15.11	-13.87	-5.28	3.10	-3.29	-4.19	-27.98	-57.73	64.15
120	18.13	-21.75	-23.57	-54.05	-50.54	-5.97	-4.13	-4.30	-60.11	-86.08	104.98
150	0.29	1.60	2.13	-8.88	-16.90	-9.30	-5.33	-6.21	-19.81	-22.79	30.19
180	-0.63	0.99	2.26	-0.46	-6.51	0.64	-5.78	-6.64	-10.66	-5.47	11.98
210	-20.94	-20.52	-19.32	5.15	-4.99	-39.61	-5.55	-4.67	-50.80	-59.65	78.35
240	-1.41	-2.56	-84.06	-9.49	20.09	-21.69	-5.95	-4.94	-71.33	-38.68	81.14
270	4.10	-10.73	-22.28	-10.64	5.25	1.59	-6.66	-6.52	-19.59	-26.30	32.79
300	1.28	-0.20	-7.01	-1.64	-1.29	1.93	-6.18	-7.27	-13.20	-7.18	15.02
330	-19.45	2.80	-1.58	-27.13	4.00	-0.62	-4.47	-5.77	-21.50	-30.72	37.50
360	-96.27	-12.06	26.95	-37.97	-2.10	-4.49	-2.98	-4.24	-74.40	-58.76	94.81

Nilai gaya pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	30.13	-236.20	94.57	67.47	22.71	-10.56	11.25	-7.83	158.66	-187.12	245.33
30	23.33	-32.45	-4.48	-4.34	10.59	3.67	17.44	-9.34	46.88	-42.47	63.26
60	-1.38	-3.29	-0.50	1.76	5.96	3.25	13.55	-6.51	17.62	-4.79	18.26
90	109.40	-11.01	34.92	-38.50	-8.47	-12.92	10.38	-8.18	146.23	-70.61	162.38
120	53.06	44.68	135.10	-59.10	14.99	-122.60	10.57	-10.20	213.72	-147.22	259.52
150	-4.03	0.69	20.61	5.58	23.53	-44.41	15.41	-13.17	55.52	-51.31	75.60
180	-2.65	-1.78	1.76	5.30	-2.96	-15.70	16.55	-14.37	12.70	-26.55	29.43
210	50.76	-53.15	-14.03	-47.97	102.20	-12.45	11.55	-13.81	150.48	-127.38	197.15
240	7.86	-4.58	23.72	-203.40	55.63	51.59	12.18	-14.72	99.39	-171.11	197.89
270	23.70	11.15	26.21	-58.11	-4.17	13.35	16.42	-16.68	62.16	-50.29	79.96
300	1.70	2.39	2.53	-17.48	-5.04	-3.49	18.85	-15.83	18.04	-34.41	38.85
330	-9.14	-49.42	69.47	-3.47	2.06	7.80	15.27	-11.66	77.66	-56.76	96.19
360	30.13	-236.20	94.57	67.47	22.71	-10.56	11.25	-7.83	158.66	-187.12	245.33

LAMPIRAN IB.1

Nilai torsi pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-6.28	-3.96	8.18	-10.97	0.24	-0.68	-2.16	-1.22	-0.03	-16.82	16.82
30	-3.17	-3.39	0.74	0.11	0.19	-0.45	-0.65	-1.42	-2.89	-5.14	5.90
60	-0.47	-0.19	0.62	-0.32	0.05	-0.95	-0.39	-1.08	-0.20	-2.54	2.54
90	-1.07	-8.94	-2.70	-2.75	-2.05	1.82	-0.45	-0.90	-6.27	-10.76	12.45
120	8.86	-13.20	-4.93	-12.17	-8.44	-1.61	-0.61	-0.74	-5.13	-27.72	28.19
150	0.56	0.05	-0.61	-1.42	-3.33	-3.77	-0.79	-0.91	-4.17	-6.05	7.35
180	0.07	-0.30	-0.03	-0.03	-1.10	0.02	-0.94	-1.17	-1.99	-1.48	2.48
210	-3.64	-3.93	-0.85	1.97	-1.40	-10.65	-1.10	-1.06	-6.99	-13.66	15.35
240	-3.98	-10.60	-20.57	-2.59	6.19	-8.28	-1.26	-0.94	-19.62	-22.41	29.78
270	0.11	-1.65	-4.84	-3.89	-0.01	0.94	-1.46	-1.29	-6.21	-5.89	8.56
300	0.28	0.57	-1.77	0.44	-0.64	0.23	-1.60	-1.59	-3.74	-0.35	3.76
330	-6.58	3.76	-1.65	-11.18	-6.31	-6.44	-1.77	-1.35	-16.30	-15.21	22.30
360	-6.28	-3.96	8.18	-10.97	0.24	-0.68	-2.16	-1.22	-0.03	-16.82	16.82

Nilai gaya pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	10.00	-14.32	27.16	20.22	1.22	0.73	2.96	-5.40	41.33	1.22	41.35
30	8.36	-7.72	-0.29	1.88	1.06	0.63	3.53	-1.62	12.66	-6.84	14.39
60	0.98	-1.28	0.64	1.47	2.16	-0.23	2.68	-0.98	6.45	-1.02	6.53
90	23.67	-2.50	6.86	-7.01	-4.46	-5.19	2.20	-1.11	28.27	-15.81	32.38
120	32.42	21.72	30.35	-12.36	4.00	-21.52	1.77	-1.53	68.53	-13.69	69.88
150	-0.12	1.34	3.45	-1.36	9.39	-8.23	2.18	-1.98	14.90	-10.22	18.07
180	0.55	0.09	0.15	-0.56	0.59	-2.87	2.84	-2.33	4.12	-5.67	7.01
210	9.47	-9.03	-4.83	-2.23	28.13	-3.33	2.56	-2.73	35.33	-17.31	39.34
240	25.23	-9.44	6.44	-51.77	20.02	14.96	2.28	-3.15	53.97	-49.40	73.16
270	3.90	0.51	9.57	-12.02	-2.42	-0.15	3.16	-3.66	14.20	-15.32	20.89
300	-1.27	0.16	-0.30	-4.65	-0.84	-1.76	3.91	-3.98	1.49	-10.22	10.32
330	-9.57	-16.79	29.67	-3.80	15.48	-15.40	3.29	-4.39	38.86	-40.38	56.04
360	10.00	-14.32	27.16	20.22	1.22	0.73	2.96	-5.40	41.33	1.22	41.35

LAMPIRAN IB.2

Nilai torsi pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-37.46	-7.52	22.57	-30.28	-3.39	-5.73	-3.55	-2.73	-21.83	-46.26	51.15
30	-6.66	-6.15	0.81	0.18	0.49	-2.39	-1.53	-3.45	-6.89	-11.80	13.66
60	-0.98	0.22	0.75	-0.53	0.50	-2.15	-1.01	-2.70	-0.74	-5.17	5.22
90	-2.34	-19.53	-7.44	-6.69	-3.63	3.22	-1.21	-2.12	-14.62	-25.11	29.06
120	15.37	-22.05	-12.77	-29.73	-17.54	-3.60	-1.62	-1.83	-16.56	-57.21	59.56
150	-0.53	1.00	-0.40	-4.13	-8.19	-6.61	-2.14	-2.64	-11.26	-12.37	16.73
180	-0.67	-0.12	0.80	-0.64	-2.69	1.18	-2.45	-3.12	-5.01	-2.70	5.69
210	-10.54	-10.21	-10.04	4.95	-3.35	-23.04	-2.82	-2.41	-26.75	-30.71	40.73
240	-6.60	-16.02	-27.43	-6.59	11.43	-13.72	-3.31	-2.48	-25.90	-38.80	46.66
270	2.14	-5.77	-11.80	-7.63	0.12	2.19	-3.97	-3.77	-13.51	-14.98	20.18
300	0.00	1.03	-4.76	1.89	-1.34	1.09	-4.22	-4.41	-10.32	-0.40	10.33
330	-8.27	1.43	-2.90	-19.29	-7.78	-8.65	-3.83	-3.25	-22.79	-29.77	37.49
360	-37.46	-7.52	22.57	-30.28	-3.39	-5.73	-3.55	-2.73	-21.83	-46.26	51.15

Nilai gaya pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	18.57	-94.34	76.51	56.87	15.40	-9.14	6.37	-8.59	116.85	-55.19	129.23
30	15.19	-16.30	-0.49	2.09	5.66	1.44	8.59	-3.84	28.95	-16.61	33.38
60	0.70	-2.74	1.14	1.68	4.63	0.81	6.71	-2.52	13.18	-2.77	13.47
90	51.52	-5.56	16.78	-19.12	-7.84	-9.30	5.11	-2.97	65.57	-36.95	75.26
120	53.79	37.49	73.96	-31.93	8.85	-44.43	4.30	-3.98	140.90	-42.85	147.27
150	-2.51	-1.39	9.93	-0.70	16.44	-20.27	6.31	-5.26	30.17	-27.61	40.90
180	0.02	-1.95	1.37	1.44	-1.22	-7.17	7.56	-6.01	7.73	-13.68	15.71
210	24.57	-25.75	-12.16	-25.29	61.00	-7.87	5.73	-6.90	79.14	-65.81	102.93
240	37.37	-15.24	16.36	-68.75	33.48	27.88	5.89	-8.16	93.10	-64.27	113.13
270	13.39	5.78	18.93	-29.45	-5.65	0.05	9.13	-9.80	35.80	-33.42	48.97
300	-2.28	-0.51	-2.51	-12.45	-3.12	-3.69	10.76	-10.38	2.86	-27.03	27.18
330	-3.34	-20.80	51.26	-6.30	20.04	-18.19	7.76	-9.35	75.72	-54.65	93.38
360	18.57	-94.34	76.51	56.87	15.40	-9.14	6.37	-8.59	116.85	-55.19	129.23

LAMPIRAN IB.3

Nilai torsi pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-92.70	-10.93	39.65	-54.70	-5.07	-8.44	-3.80	-4.23	-61.92	-78.30	99.83
30	-11.37	-9.71	0.77	0.34	0.88	-5.30	-2.80	-6.37	-12.51	-21.04	24.48
60	-1.67	1.02	0.83	-0.74	1.18	-3.74	-1.93	-5.03	-1.58	-8.49	8.64
90	-4.03	-34.30	-14.16	-12.23	-5.17	4.58	-2.38	-3.84	-25.75	-45.79	52.53
120	23.27	-32.48	-23.78	-54.14	-37.88	-5.53	-3.20	-3.61	-41.59	-95.76	104.40
150	-1.79	2.51	0.30	-8.07	-15.67	-10.61	-4.32	-5.47	-21.48	-21.64	30.49
180	-1.57	0.42	1.83	-1.73	-5.29	3.24	-4.74	-5.97	-9.77	-4.04	10.57
210	-21.13	-19.47	-19.47	6.97	-5.89	-38.98	-5.10	-4.21	-51.58	-55.69	75.91
240	-7.99	-17.92	-68.00	-9.32	22.44	-26.83	-5.85	-4.73	-59.41	-58.80	83.59
270	3.22	-10.03	-22.61	-13.19	1.46	3.07	-7.38	-7.44	-25.31	-27.59	37.44
300	0.43	-0.16	-8.82	3.36	-1.87	2.10	-7.24	-8.52	-17.50	-3.22	17.80
330	-18.22	2.49	-4.25	-30.78	-3.38	-5.31	-5.43	-6.18	-31.27	-39.78	50.60
360	-92.70	-10.93	39.65	-54.70	-5.07	-8.44	-3.80	-4.23	-61.92	-78.30	99.83

Nilai gaya pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	26.97	-234.00	139.30	100.90	22.89	-13.50	10.23	-9.25	199.39	-155.85	253.07
30	24.09	-27.97	-0.90	2.01	12.56	2.52	15.85	-7.02	51.60	-30.46	59.92
60	-0.27	-4.73	1.64	1.73	7.84	2.42	12.49	-4.81	21.70	-5.39	22.35
90	90.33	-9.64	30.73	-36.24	-11.06	-13.39	9.19	-5.80	119.19	-65.07	135.79
120	78.84	56.56	134.20	-59.25	13.47	-95.68	8.43	-7.77	234.94	-106.14	257.81
150	-6.32	-4.52	19.24	1.26	26.55	-39.02	13.11	-10.57	52.58	-52.85	74.55
180	-1.44	-4.50	3.44	4.20	-4.70	-14.15	14.50	-11.60	11.80	-26.06	28.60
210	46.82	-51.36	-17.01	-48.73	103.40	-13.67	9.87	-12.36	143.08	-126.12	190.73
240	42.09	-18.70	23.06	-171.50	66.49	55.46	11.08	-14.19	142.72	-148.93	206.27
270	23.25	9.04	32.82	-56.55	-8.02	3.19	17.78	-17.96	65.83	-62.28	90.62
300	0.48	1.48	-4.40	-22.96	-5.90	-5.11	20.86	-17.83	11.03	-44.42	45.77
330	-5.70	-45.35	81.11	-9.17	12.02	-7.83	15.13	-13.28	102.56	-75.62	127.42
360	26.97	-234.00	139.30	100.90	22.89	-13.50	10.23	-9.25	199.39	-155.85	253.07

LAMPIRAN IC.1

Nilai torsi pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-7.53	-4.13	7.75	-10.60	-1.11	-4.12	-1.85	-1.03	-2.74	-19.88	20.07
30	-2.48	-2.83	1.39	-0.19	0.07	-0.44	-0.51	-1.34	-1.52	-4.80	5.04
60	-0.32	-1.73	0.60	-0.15	-0.12	-0.76	-0.30	-1.03	-0.14	-3.67	3.67
90	-0.86	-9.23	-2.66	-2.57	-1.37	1.24	-0.31	-0.88	-5.21	-11.43	12.56
120	10.72	-16.17	-4.89	-11.84	-9.85	-1.05	-0.44	-0.68	-4.45	-29.74	30.07
150	1.17	-0.35	-0.68	-1.31	-2.49	-2.99	-0.61	-0.72	-2.61	-5.37	5.97
180	0.27	-0.21	-0.21	-0.22	-0.86	-1.84	-0.72	-0.94	-1.53	-3.21	3.55
210	-3.23	-3.37	-0.50	1.87	-1.31	-11.20	-0.81	-0.89	-5.86	-13.59	14.79
240	-4.27	-11.27	-20.42	-2.16	8.00	-11.55	-0.93	-0.78	-17.62	-25.76	31.21
270	-0.50	-1.09	-3.85	-3.08	-0.01	0.87	-1.16	-1.04	-5.52	-4.35	7.03
300	0.28	0.27	-1.53	-1.94	-0.86	0.35	-1.26	-1.31	-3.38	-2.63	4.28
330	-6.61	3.58	-1.70	-13.27	-5.73	-5.78	-1.44	-1.13	-15.48	-16.61	22.70
360	-7.53	-4.13	7.75	-10.60	-1.11	-4.12	-1.85	-1.03	-2.74	-19.88	20.07

Nilai gaya pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	10.29	-20.19	26.72	19.56	11.13	-3.22	2.76	-4.74	50.90	-8.59	51.62
30	7.28	-6.10	0.42	3.35	1.08	0.20	3.33	-1.28	12.11	-3.84	12.71
60	3.51	-1.00	0.27	1.45	1.92	-0.12	2.57	-0.77	8.26	-0.44	8.27
90	23.85	-2.22	6.51	-6.54	-3.05	-3.40	2.21	-0.82	29.52	-12.99	32.25
120	40.45	26.87	29.56	-12.17	2.77	-24.83	1.73	-1.14	74.51	-11.27	75.36
150	0.87	2.99	3.24	-1.68	7.69	-6.08	1.89	-1.58	13.70	-6.35	15.10
180	0.36	0.57	0.61	-0.37	3.71	-2.38	2.45	-1.89	7.13	-4.07	8.21
210	8.49	-7.86	-4.81	-1.39	28.88	-3.36	2.35	-2.13	34.91	-14.75	37.90
240	28.60	-10.81	5.54	-51.11	28.77	19.99	2.08	-2.44	64.99	-44.37	78.69
270	2.98	-1.21	8.04	-9.46	-2.14	0.14	2.74	-2.99	11.62	-13.52	17.82
300	-0.78	0.79	3.78	-4.09	-1.09	-2.28	3.41	-3.29	5.31	-8.86	10.33
330	-8.85	-16.81	34.18	-4.37	14.71	-14.40	2.99	-3.74	43.03	-39.32	58.29
360	10.29	-20.19	26.72	19.56	11.13	-3.22	2.76	-4.74	50.90	-8.59	51.62

LAMPIRAN IC.2

Nilai torsi pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-41.56	-7.20	22.48	-30.29	-2.34	-4.80	-3.66	-2.44	-25.08	-44.74	51.29
30	-5.17	-5.11	2.14	-0.57	0.27	-2.39	-1.18	-3.24	-3.94	-11.32	11.98
60	-0.84	-3.09	0.67	-0.46	0.25	-1.76	-0.74	-2.58	-0.66	-7.90	7.93
90	-2.01	-20.01	-7.14	-6.19	-2.70	1.97	-0.86	-2.11	-12.72	-26.33	29.24
120	19.88	-29.49	-12.67	-28.92	-19.16	-2.77	-1.20	-1.60	-13.15	-62.78	64.14
150	0.02	0.35	-0.72	-3.71	-6.23	-5.52	-1.66	-2.11	-8.60	-10.99	13.95
180	-0.71	-0.23	0.44	-0.97	-2.40	-3.46	-1.94	-2.75	-4.61	-7.41	8.73
210	-8.42	-8.24	-8.14	4.58	-3.14	-26.12	-2.18	-2.12	-21.89	-31.90	38.69
240	-9.27	-22.31	-28.42	-6.30	13.06	-17.42	-2.72	-2.10	-27.35	-48.13	55.36
270	0.89	-4.78	-10.03	-6.44	-1.28	2.55	-3.41	-3.26	-13.83	-11.93	18.26
300	0.36	0.48	-4.29	-3.73	-2.51	1.34	-3.59	-3.81	-10.04	-5.72	11.56
330	-8.02	1.16	-3.13	-26.45	-12.43	-12.00	-3.45	-2.59	-27.03	-39.88	48.17
360	-41.56	-7.20	22.48	-30.29	-2.34	-4.80	-3.66	-2.44	-25.08	-44.74	51.29

Nilai gaya pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	18.24	-100.70	76.41	56.70	9.95	-4.98	6.47	-9.44	111.07	-58.41	125.49
30	12.98	-12.76	1.34	5.14	5.90	0.73	8.08	-3.00	28.30	-9.89	29.98
60	6.24	-2.35	1.04	1.50	4.25	1.02	6.43	-1.93	17.96	-1.76	18.04
90	51.76	-5.15	15.65	-17.64	-4.93	-6.71	5.30	-2.24	67.78	-31.73	74.84
120	73.35	49.52	72.28	-31.60	7.40	-47.51	4.15	-3.10	157.18	-32.69	160.54
150	-0.85	0.26	9.30	-1.79	13.79	-15.25	5.49	-4.30	27.73	-21.08	34.83
180	0.32	-2.08	2.24	1.57	6.84	-6.29	7.07	-5.05	16.47	-11.86	20.30
210	20.56	-20.53	-11.68	-20.85	67.16	-8.06	5.53	-5.67	81.57	-55.11	98.44
240	56.88	-23.63	15.91	-71.21	43.42	32.65	5.52	-6.99	121.73	-69.18	140.01
270	12.78	2.45	16.14	-24.49	-6.27	-2.78	8.36	-8.68	31.02	-33.50	45.66
300	-1.74	1.13	7.35	-11.13	-3.58	-6.51	9.71	-9.21	11.74	-25.71	28.27
330	-3.25	-20.73	68.96	-8.00	31.08	-32.06	6.76	-8.85	103.56	-69.64	124.79
360	18.24	-100.70	76.41	56.70	9.95	-4.98	6.47	-9.44	111.07	-58.41	125.49

LAMPIRAN IC.3

Nilai torsi pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-96.21	-10.18	45.43	-63.52	-5.31	-7.72	-4.71	-3.88	-60.8	-85.31	104.75
30	-8.86	-8.09	3.01	-1.10	0.53	-5.33	-2.13	-5.98	-7.45	-20.50	21.81
60	-1.60	-4.77	0.66	-0.86	0.84	-3.13	-1.41	-4.84	-1.52	-13.60	13.68
90	-3.64	-35.16	-13.36	-11.17	-4.20	2.72	-1.72	-3.82	-22.9	-47.43	52.68
120	31.28	-46.20	-23.61	-52.77	-36.78	-4.42	-2.41	-3.10	-31.5	-106.5	111.06
150	-1.83	1.74	-0.60	-7.02	-12.07	-8.82	-3.41	-4.53	-17.9	-18.63	25.83
180	-2.21	0.13	1.42	-2.20	-4.83	-5.33	-3.65	-5.33	-9.26	-12.71	15.73
210	-16.96	-15.82	-18.39	6.68	-5.76	-46.40	-4.12	-3.78	-45.2	-59.32	74.60
240	-13.60	-31.03	-59.42	-9.62	22.15	-28.23	-5.19	-4.28	-56.0	-73.16	92.17
270	2.38	-8.92	-20.03	-11.18	-1.66	4.24	-6.88	-6.99	-26.1	-22.85	34.75
300	0.27	-0.01	-8.54	-6.35	-3.92	3.04	-6.76	-7.77	-18.9	-11.09	21.97
330	-16.85	-0.40	-4.05	-38.40	-15.13	-14.42	-5.42	-5.00	-41.4	-58.22	71.47
360	-96.21	-10.18	45.43	-63.52	-5.31	-7.72	-4.71	-3.88	-60.8	-85.31	104.75

Nilai gaya pada *Diffuser* Model I, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	25.95	-235.10	159.70	114.20	14.79	-11.16	10.30	-12.18	210.74	-144.24	255.38
30	20.25	-21.77	2.64	7.19	13.17	1.43	14.89	-5.43	50.95	-18.58	54.23
60	9.60	-4.32	2.03	1.32	7.37	2.75	12.05	-3.66	31.06	-3.91	31.30
90	90.98	-9.33	28.17	-33.06	-6.92	-10.27	9.63	-4.46	121.86	-57.12	134.58
120	114.40	77.62	131.90	-58.95	11.97	-90.29	8.04	-6.23	266.31	-77.85	277.45
150	-4.29	-4.08	17.76	-1.49	21.52	-29.40	11.63	-8.77	46.62	-43.74	63.93
180	-0.63	-6.13	4.81	4.57	10.40	-12.43	13.61	-9.49	28.19	-23.48	36.69
210	39.31	-41.46	-17.07	-46.92	119.60	-14.75	9.86	-10.67	151.70	-113.80	189.64
240	78.85	-34.71	24.24	-147.50	70.55	55.41	11.11	-13.32	184.75	-140.12	231.88
270	23.77	6.41	26.29	-48.30	-10.48	-3.65	17.71	-17.39	57.29	-62.93	85.10
300	-0.52	1.41	13.00	-21.89	-7.72	-10.02	19.69	-17.21	24.45	-47.71	53.61
330	1.17	-41.37	101.10	-10.00	36.98	-38.52	12.99	-13.87	152.24	-103.76	184.24
360	25.95	-235.10	159.70	114.20	14.79	-11.16	10.30	-12.18	210.74	-144.24	255.38

LAMPIRAN IIA.1

Nilai torsi pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-7.07	-4.27	12.76	-17.57	0.50	-1.34	-1.72	-1.29	4.48	-24.47	24.88
30	-4.99	-4.74	1.33	-0.50	0.79	-0.87	-0.68	-1.53	-3.55	-7.65	8.43
60	-0.96	-2.09	0.51	-0.13	0.21	-0.35	-0.37	-1.16	-0.61	-3.73	3.78
90	-1.33	-12.16	-1.47	-1.92	-1.43	1.26	-0.46	-0.99	-4.68	-13.81	14.58
120	11.00	-16.52	-4.98	-12.32	-8.04	-1.78	-0.63	-0.78	-2.66	-31.40	31.51
150	-1.53	0.83	-0.17	-1.66	-4.62	-5.34	-0.79	-0.95	-7.10	-7.11	10.05
180	-0.23	-0.19	0.00	0.37	-1.75	-2.44	-0.88	-1.24	-2.86	-3.51	4.53
210	-2.30	-2.88	-0.25	1.58	-1.81	-14.43	-0.96	-1.15	-5.32	-16.88	17.70
240	-4.02	-10.72	-20.66	-2.58	10.77	-15.30	-1.09	-0.95	-15.00	-29.54	33.13
270	0.35	-1.80	-5.93	-5.72	-2.11	1.47	-1.26	-1.24	-8.95	-7.28	11.54
300	0.37	0.68	-2.36	-2.75	-0.82	0.13	-1.29	-1.65	-4.10	-3.59	5.45
330	-4.47	3.20	-2.13	-15.76	-4.25	-4.64	-1.33	-1.48	-12.18	-18.68	22.30
360	-7.07	-4.27	12.76	-17.57	0.50	-1.34	-1.72	-1.29	4.48	-24.47	24.88

Nilai gaya pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	10.78	-17.11	43.52	31.54	2.51	1.67	3.22	-4.30	60.03	11.81	61.18
30	12.39	-12.59	1.33	3.18	2.28	1.96	3.83	-1.72	19.83	-9.17	21.85
60	5.30	-2.41	0.21	1.17	0.67	0.49	2.90	-0.90	9.07	-1.65	9.22
90	31.59	-3.32	4.91	-3.63	-2.77	-3.95	2.47	-1.13	36.21	-12.03	38.15
120	40.85	27.17	30.77	-12.34	4.40	-19.91	1.95	-1.58	77.97	-6.66	78.26
150	-2.09	-3.66	4.24	-0.38	13.94	-11.56	2.38	-2.01	18.48	-17.61	25.52
180	0.32	-0.73	-1.14	-0.08	6.14	-4.37	3.10	-2.20	8.42	-7.38	11.20
210	7.31	-5.66	-3.54	-0.85	37.54	-4.50	2.86	-2.38	44.18	-13.39	46.16
240	26.32	-9.75	6.35	-51.74	37.66	26.51	2.37	-2.74	72.70	-37.71	81.90
270	4.50	0.90	14.99	-14.86	-3.70	-5.15	3.09	-3.17	18.87	-22.28	29.20
300	-1.93	0.82	6.87	-5.92	-0.45	-2.24	4.08	-3.20	8.56	-10.55	13.58
330	-7.52	-11.74	41.00	-5.20	11.70	-10.32	3.65	-3.28	48.84	-30.54	57.60
360	10.78	-17.11	43.52	31.54	2.51	1.67	3.22	-4.30	60.03	11.81	61.18

LAMPIRAN IIA.2

Nilai torsi pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-27.20	-8.40	26.51	-36.38	1.22	-2.31	-3.58	-3.70	-3.05	-50.79	50.88
30	-10.16	-8.24	1.26	-0.26	1.51	-3.14	-1.61	-3.72	-9.00	-15.36	17.80
60	-2.38	-3.99	0.19	-0.17	0.81	-0.76	-0.98	-2.94	-2.35	-7.86	8.20
90	-3.08	-26.59	-4.38	-4.42	-2.46	2.44	-1.26	-2.36	-11.18	-30.93	32.88
120	21.31	-31.39	-13.40	-30.77	-16.34	-4.01	-1.66	-1.95	-10.09	-68.12	68.87
150	-5.98	3.11	0.53	-4.73	-11.00	-9.30	-2.12	-2.79	-18.58	-13.71	23.09
180	-1.25	-0.12	0.94	0.26	-4.59	-5.14	-2.30	-3.65	-7.20	-8.65	11.26
210	-6.68	-6.76	-6.94	4.30	-4.37	-32.49	-2.39	-2.87	-20.38	-37.83	42.97
240	-7.67	-19.26	-19.53	-7.34	22.78	-30.67	-2.87	-2.60	-7.28	-59.87	60.31
270	2.96	-7.23	-14.21	-11.00	-4.17	2.74	-3.36	-3.73	-18.78	-19.22	26.87
300	0.84	0.91	-5.88	-5.82	-1.85	0.48	-3.42	-4.96	-10.32	-9.39	13.95
330	-5.71	2.43	-3.83	-30.80	-9.85	-9.83	-3.23	-4.23	-22.62	-42.43	48.08
360	-27.20	-8.40	26.51	-36.38	1.22	-2.31	-3.58	-3.70	-3.05	-50.79	50.88

Nilai gaya pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	20.80	-65.16	90.65	66.10	4.40	3.54	9.07	-8.87	124.92	-4.39	125.00
30	21.67	-25.57	0.67	2.90	8.26	3.79	9.28	-4.02	39.88	-22.91	45.99
60	10.06	-6.06	0.32	0.17	1.51	2.06	7.33	-2.40	19.22	-6.22	20.20
90	69.08	-7.68	11.39	-10.88	-5.53	-6.78	5.84	-3.10	80.78	-28.44	85.64
120	77.38	52.50	76.65	-33.19	10.01	-39.27	4.82	-4.16	168.86	-24.12	170.57
150	-7.70	-14.58	12.13	1.40	24.89	-27.65	6.91	-5.31	36.23	-46.14	58.67
180	0.13	-3.49	-1.17	2.24	12.76	-11.58	9.01	-5.67	20.72	-18.50	27.78
210	17.29	-16.49	-9.80	-17.61	84.53	-10.74	7.08	-5.95	99.10	-50.79	111.36
240	45.63	-17.81	18.05	-48.57	75.60	56.13	6.42	-7.21	145.70	-17.46	146.74
270	18.54	7.57	29.46	-35.62	-6.85	-10.17	9.18	-8.40	50.34	-46.62	68.61
300	-2.75	1.85	14.32	-14.88	-1.40	-5.07	12.25	-8.46	22.42	-26.56	34.76
330	-5.79	-14.65	80.22	-9.15	24.21	-23.18	10.49	-8.01	109.13	-54.99	122.20
360	20.80	-65.16	90.65	66.10	4.40	3.54	9.07	-8.87	124.92	-4.39	125.00

LAMPIRAN IIA.3

Nilai torsi pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-58.87	-13.44	42.21	-58.15	-3.09	-16.66	-5.38	-6.87	-25.1	-95.12	98.38
30	-16.95	-12.41	0.85	0.27	2.47	-6.46	-2.92	-6.84	-16.5	-25.44	30.35
60	-4.41	-6.55	-0.36	-0.18	1.68	-1.31	-1.90	-5.53	-4.9	-13.57	14.45
90	-5.52	-46.84	-8.50	-7.80	-3.37	3.40	-2.46	-4.30	-19.8	-55.54	58.99
120	35.22	-51.34	-25.17	-56.39	-36.87	-6.05	-3.29	-3.88	-30.1	-117.6	121.45
150	-11.65	6.10	1.98	-9.11	-20.60	-14.55	-4.18	-5.77	-34.4	-23.33	41.60
180	-2.53	0.08	2.01	-0.19	-8.95	-8.99	-4.25	-7.15	-13.7	-16.24	21.26
210	-13.19	-12.10	-13.51	6.52	-7.84	-57.48	-4.38	-5.35	-38.9	-68.41	78.70
240	-9.99	-25.57	-39.99	-11.53	40.34	-52.82	-5.43	-5.29	-15.0	-95.21	96.40
270	5.80	-13.97	-26.50	-17.09	-2.98	2.61	-6.26	-7.63	-29.9	-36.08	46.88
300	1.67	0.11	-10.76	-10.63	-2.48	1.12	-6.39	-10.45	-17.9	-19.85	26.77
330	-14.38	3.80	-5.04	-45.15	-14.95	-13.66	-5.77	-9.02	-40.1	-64.03	75.57
360	-58.87	-13.44	42.21	-58.15	-3.09	-16.66	-5.38	-6.87	-25.1	-95.12	98.38

Nilai gaya pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	33.84	-138.00	145.00	105.30	44.28	-9.08	17.02	-13.32	240.14	-55.10	246.38
30	32.86	-42.64	-0.74	1.76	16.99	6.22	17.07	-7.31	66.18	-41.97	78.36
60	16.46	-11.30	0.39	-1.50	2.58	4.32	13.80	-4.66	33.23	-13.13	35.73
90	121.70	-13.72	20.15	-21.17	-7.81	-9.21	10.62	-6.08	144.66	-50.18	153.12
120	126.20	86.64	140.30	-62.30	15.24	-88.23	9.51	-8.19	291.25	-72.08	300.03
150	-15.04	-28.49	23.47	5.06	39.45	-51.91	14.21	-10.35	62.09	-85.69	105.82
180	-0.42	-6.96	-0.31	5.00	22.20	-22.73	17.70	-10.49	39.17	-35.18	52.65
210	30.98	-32.63	-15.64	-34.87	149.40	-19.07	13.15	-10.87	177.89	-97.44	202.83
240	58.89	-22.32	28.60	-93.40	130.50	99.70	12.94	-13.55	230.93	-29.57	232.82
270	36.15	14.86	46.63	-66.59	-6.48	-7.06	18.76	-15.57	95.06	-74.36	120.69
300	-1.01	3.84	26.06	-27.39	-3.16	-6.74	26.06	-15.88	47.95	-46.17	66.56
330	-9.77	-36.87	118.30	-11.96	33.05	-35.00	22.58	-14.30	164.16	-98.13	191.25
360	33.84	-138.00	145.00	105.30	44.28	-9.08	17.02	-13.32	240.14	-55.10	246.38

LAMPIRAN IIB.1

Nilai torsi pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-9.95	-4.19	12.93	-18.53	-1.29	-4.84	-1.56	-1.17	0.13	-28.72	28.72
30	-4.18	-4.76	2.58	-1.35	0.83	-0.90	-0.54	-1.40	-1.31	-8.41	8.52
60	-0.57	-1.95	0.64	0.00	0.27	-0.40	-0.32	-1.07	0.02	-3.42	3.42
90	-1.02	-11.20	-1.67	-1.96	-1.01	1.16	-0.37	-0.93	-4.07	-12.94	13.56
120	11.63	-17.65	-4.84	-11.90	-8.44	-1.47	-0.49	-0.74	-2.14	-31.76	31.83
150	-0.26	0.15	-0.22	-1.74	-3.86	-5.39	-0.62	-0.82	-4.97	-7.79	9.24
180	0.20	0.01	0.05	0.13	-1.21	-2.24	-0.71	-1.05	-1.67	-3.16	3.57
210	-2.27	-2.65	-0.27	1.79	-1.51	-13.61	-0.79	-1.04	-4.84	-15.51	16.24
240	-4.22	-11.27	-20.14	-2.20	10.86	-16.10	-0.92	-0.87	-14.41	-30.44	33.68
270	0.01	-1.52	-5.12	-5.80	-2.51	1.81	-1.07	-1.09	-8.69	-6.61	10.92
300	0.47	0.62	-1.87	-2.67	-0.73	0.44	-1.10	-1.42	-3.23	-3.04	4.43
330	-4.53	2.69	-1.99	-16.00	-4.42	-4.42	-1.17	-1.29	-12.11	-19.01	22.54
360	-9.95	-4.19	12.93	-18.53	-1.29	-4.84	-1.56	-1.17	0.13	-28.72	28.72

Nilai gaya pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	10.48	-24.37	45.66	31.94	11.64	-2.85	3.04	-3.99	70.82	0.73	70.82
30	12.03	-10.94	3.34	6.44	2.30	1.91	3.50	-1.35	21.17	-3.93	21.53
60	4.63	-1.74	0.13	1.59	0.95	0.82	2.67	-0.80	8.39	-0.12	8.39
90	27.84	-2.43	4.70	-3.86	-2.82	-2.47	2.33	-0.91	32.06	-9.68	33.49
120	43.90	28.94	29.84	-12.03	3.62	-20.53	1.86	-1.23	79.21	-4.85	79.36
150	-0.42	-0.63	4.46	-0.70	13.55	-10.10	2.09	-1.59	19.68	-13.01	23.59
180	0.15	0.45	-0.52	0.27	5.18	-3.33	2.69	-1.83	7.50	-4.45	8.72
210	6.39	-5.31	-4.42	-0.64	33.81	-3.64	2.64	-2.02	38.42	-11.60	40.13
240	27.97	-10.28	5.39	-49.99	39.71	26.83	2.25	-2.34	75.33	-35.78	83.39
270	3.81	-0.09	14.66	-13.34	-4.52	-6.27	2.81	-2.73	16.76	-22.43	28.00
300	-1.95	1.24	6.06	-5.02	-0.89	-1.99	3.62	-2.82	6.83	-8.59	10.97
330	-6.46	-10.95	39.73	-4.82	10.58	-10.37	3.29	-2.98	47.14	-29.11	55.40
360	10.48	-24.37	45.66	31.94	11.64	-2.85	3.04	-3.99	70.82	0.73	70.82

LAMPIRAN IIB.2

Nilai torsi pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-26.28	-8.15	30.38	-41.58	1.44	-1.03	-3.30	-3.12	2.24	-53.87	53.92
30	-8.49	-8.17	4.19	-2.21	1.61	-3.37	-1.28	-3.39	-3.97	-17.14	17.59
60	-1.53	-3.82	0.50	-0.09	0.91	-0.88	-0.82	-2.68	-0.95	-7.47	7.53
90	-2.42	-24.30	-4.86	-4.69	-2.05	2.29	-1.00	-2.25	-10.33	-28.95	30.74
120	22.76	-34.16	-12.86	-29.42	-15.20	-4.03	-1.30	-1.78	-6.60	-69.39	69.70
150	-4.70	2.68	0.17	-4.80	-9.29	-9.50	-1.68	-2.34	-15.49	-13.96	20.85
180	-0.85	0.21	1.01	0.09	-3.38	-4.92	-1.88	-3.09	-5.09	-7.71	9.23
210	-6.24	-6.22	-5.81	4.21	-3.77	-31.71	-2.01	-2.59	-17.84	-36.30	40.45
240	-9.66	-23.69	-23.30	-7.00	22.83	-32.85	-2.41	-2.27	-12.54	-65.81	66.99
270	2.26	-6.84	-12.55	-10.79	-7.68	4.64	-2.87	-3.29	-20.83	-16.28	26.44
300	1.25	1.06	-4.93	-5.89	-2.33	1.10	-2.95	-4.27	-8.96	-8.00	12.01
330	-6.25	3.12	-4.27	-35.14	-12.29	-10.92	-2.84	-3.44	-25.65	-46.39	53.00
360	-26.28	-8.15	30.38	-41.58	1.44	-1.03	-3.30	-3.12	2.24	-53.87	53.92

Nilai gaya pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	20.15	-64.32	102.30	74.80	1.01	4.34	7.84	-8.45	131.30	6.37	131.46
30	20.87	-22.23	5.50	10.42	8.49	3.77	8.47	-3.16	43.33	-11.20	44.75
60	8.85	-4.40	0.45	1.16	2.16	2.60	6.71	-2.04	18.16	-2.68	18.35
90	60.37	-5.87	11.29	-11.41	-5.67	-4.93	5.61	-2.49	71.60	-24.69	75.74
120	84.63	56.47	73.80	-32.11	9.96	-37.02	4.47	-3.30	172.86	-15.96	173.59
150	-6.68	-11.81	12.18	0.20	24.23	-24.14	5.91	-4.26	35.64	-40.02	53.59
180	-0.19	-2.33	-0.65	2.77	10.99	-8.95	7.74	-4.73	17.88	-13.24	22.25
210	14.99	-14.75	-9.89	-13.87	78.64	-9.19	6.51	-5.14	90.25	-42.95	99.95
240	57.84	-23.23	17.29	-57.80	80.65	56.23	5.83	-6.24	161.61	-31.04	164.57
270	17.19	5.68	27.70	-32.56	-11.52	-19.33	8.35	-7.32	41.72	-53.53	67.86
300	-3.19	3.07	13.00	-13.08	-2.43	-6.31	10.69	-7.43	18.07	-23.75	29.84
330	-7.24	-14.58	87.05	-10.36	26.00	-28.48	8.58	-7.22	114.40	-60.64	129.47
360	20.15	-64.32	102.30	74.80	1.01	4.34	7.84	-8.45	131.30	6.37	131.46

LAMPIRAN IIB.3

Nilai torsi pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-58.36	-13.55	51.18	-71.44	0.72	-7.10	-5.54	-6.31	-11.9	-98.40	99.13
30	-14.15	-12.07	6.09	-3.23	2.62	-6.99	-2.32	-6.22	-7.77	-28.51	29.55
60	-2.98	-6.40	0.17	-0.16	1.82	-1.51	-1.58	-5.04	-2.57	-13.11	13.36
90	-4.35	-42.83	-9.37	-8.39	-3.11	3.56	-1.96	-4.10	-18.8	-51.76	55.07
120	37.87	-56.80	-24.12	-53.89	-30.16	-6.75	-2.58	-3.44	-18.9	-120.8	122.36
150	-11.05	6.54	1.07	-9.11	-17.36	-14.60	-3.33	-4.84	-30.6	-22.00	37.74
180	-2.44	0.76	2.41	-0.25	-6.80	-8.71	-3.50	-6.11	-10.3	-14.31	17.65
210	-12.62	-11.39	-13.74	7.06	-6.92	-57.79	-3.75	-4.79	-37.0	-66.91	76.48
240	-15.20	-36.14	-35.32	-11.94	41.72	-58.54	-4.72	-4.64	-13.5	-111.2	112.08
270	5.09	-14.13	-23.68	-16.79	-11.69	6.80	-5.64	-6.96	-35.9	-31.09	47.50
300	2.30	0.43	-9.46	-10.94	-3.78	2.11	-5.82	-9.27	-16.7	-17.67	24.36
330	-12.96	2.97	-6.13	-55.27	-21.86	-17.64	-5.30	-7.50	-46.2	-77.44	90.20
360	-58.36	-13.55	51.18	-71.44	0.72	-7.10	-5.54	-6.31	-11.9	-98.40	99.13

Nilai gaya pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	33.83	-140.50	176.50	126.20	17.28	1.84	15.43	-13.78	243.04	-26.24	244.45
30	31.17	-37.07	8.03	15.07	17.55	6.18	15.57	-5.74	72.32	-21.56	75.47
60	14.59	-8.27	0.76	0.23	3.76	5.15	12.59	-3.92	31.70	-6.81	32.42
90	106.30	-10.60	20.21	-22.09	-8.90	-7.45	10.18	-4.88	127.80	-45.02	135.49
120	140.40	93.77	135.10	-60.25	16.84	-73.94	8.59	-6.52	300.93	-46.94	304.56
150	-16.23	-27.82	23.02	2.34	37.74	-45.22	12.10	-8.37	56.63	-79.06	97.25
180	-1.33	-6.59	0.09	6.37	19.07	-17.76	15.24	-8.81	33.07	-26.78	42.56
210	27.44	-29.91	-16.50	-32.99	143.00	-16.88	11.97	-9.58	165.91	-89.36	188.45
240	87.20	-36.17	29.71	-85.85	143.60	102.70	11.78	-12.15	272.29	-31.47	274.10
270	35.14	12.85	43.91	-61.66	-16.83	-29.55	17.46	-14.24	79.68	-92.60	122.16
300	-2.01	5.58	23.94	-25.13	-4.87	-10.31	23.16	-14.58	40.23	-44.44	59.94
330	-7.15	-31.55	136.60	-14.82	41.41	-50.12	18.50	-13.24	189.36	-109.73	218.86
360	33.83	-140.50	176.50	126.20	17.28	1.84	15.43	-13.78	243.04	-26.24	244.45

LAMPIRAN IIC.1

Nilai torsi pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-13.85	-4.10	11.52	-17.07	-3.40	-9.23	-1.50	-1.09	-7.22	-31.48	32.30
30	-4.05	-4.59	3.60	-1.71	0.93	-1.01	-0.43	-1.32	0.05	-8.63	8.63
60	-0.92	-1.24	0.74	-0.12	0.31	-0.33	-0.28	-1.03	-0.14	-2.72	2.72
90	-0.88	-10.10	-1.36	-1.68	-0.40	1.04	-0.29	-0.91	-2.93	-11.65	12.01
120	12.46	-18.83	-4.98	-11.95	-8.37	-1.10	-0.40	-0.71	-1.30	-32.59	32.62
150	1.42	-0.86	-0.11	-1.84	-3.46	-5.08	-0.56	-0.74	-2.71	-8.52	8.94
180	0.63	-0.17	0.12	0.19	-1.36	-1.21	-0.67	-0.96	-1.28	-2.15	2.50
210	-1.76	-2.20	-0.13	1.84	-1.24	-12.03	-0.73	-0.99	-3.86	-13.38	13.93
240	-4.56	-11.85	-19.18	-1.81	11.20	-16.88	-0.84	-0.84	-13.38	-31.38	34.11
270	-0.14	-1.42	-4.66	-5.49	-1.46	1.19	-1.00	-1.01	-7.27	-6.72	9.90
300	0.52	0.90	-1.94	-1.27	-0.42	0.15	-1.07	-1.29	-2.91	-1.51	3.28
330	-3.91	2.36	-1.71	-14.63	-3.01	-3.35	-1.14	-1.20	-9.77	-16.82	19.45
360	-13.85	-4.10	11.52	-17.07	-3.40	-9.23	-1.50	-1.09	-7.22	-31.48	32.30

Nilai gaya pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	10.42	-33.92	41.28	27.82	22.72	-8.22	2.73	-3.65	77.15	-17.96	79.21
30	11.09	-10.25	4.22	9.02	2.64	2.77	3.29	-1.09	21.24	0.45	21.25
60	3.90	-2.00	0.35	1.84	1.14	0.46	2.58	-0.69	7.97	-0.39	7.98
90	26.32	-2.00	4.17	-3.33	-2.39	-1.08	2.28	-0.71	30.38	-7.12	31.20
120	46.64	30.82	29.86	-12.36	2.85	-21.60	1.82	-1.01	81.17	-4.15	81.28
150	2.13	3.50	4.78	0.01	12.27	-8.84	1.89	-1.40	21.07	-6.73	22.12
180	0.45	1.60	-0.12	-0.05	4.00	-3.18	2.45	-1.70	6.78	-3.34	7.56
210	5.42	-4.32	-4.48	-0.32	31.26	-2.90	2.50	-1.83	34.70	-9.37	35.94
240	29.43	-11.21	4.56	-47.98	41.26	27.36	2.13	-2.07	77.38	-33.90	84.48
270	3.56	0.02	13.22	-11.81	-2.97	-3.76	2.52	-2.47	16.32	-18.02	24.32
300	-1.79	0.92	4.33	-4.71	-0.35	-1.05	3.24	-2.65	5.42	-7.49	9.25
330	-5.89	-10.09	37.65	-4.05	8.34	-7.60	3.02	-2.79	43.12	-24.52	49.60
360	10.42	-33.92	41.28	27.82	22.72	-8.22	2.73	-3.65	77.15	-17.96	79.21

LAMPIRAN IIC.2

Nilai torsi pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-22.76	-7.47	28.86	-40.72	-2.84	-8.52	-3.55	-2.71	-0.28	-59.42	59.42
30	-8.12	-8.21	6.50	-3.25	1.73	-3.65	-1.02	-3.19	-0.91	-18.29	18.32
60	-1.94	-2.26	0.72	-0.41	1.08	-1.01	-0.69	-2.57	-0.83	-6.25	6.31
90	-2.05	-21.72	-4.16	-4.04	-1.01	2.02	-0.79	-2.19	-8.01	-25.93	27.14
120	24.48	-36.70	-13.29	-29.80	-13.87	-3.37	-1.10	-1.65	-3.78	-71.51	71.61
150	-1.76	0.59	0.15	-4.94	-8.54	-9.55	-1.48	-2.03	-11.63	-15.93	19.72
180	0.02	-0.36	1.12	-0.04	-3.19	-2.34	-1.69	-2.77	-3.74	-5.52	6.67
210	-4.44	-4.93	-3.93	4.12	-3.19	-28.08	-1.84	-2.44	-13.40	-31.32	34.06
240	-10.79	-26.50	-25.82	-6.33	21.78	-32.46	-2.26	-2.09	-17.09	-67.37	69.51
270	1.57	-6.54	-12.01	-10.78	-7.98	4.85	-2.73	-3.00	-21.15	-15.46	26.20
300	1.22	1.80	-4.86	-2.41	-1.79	0.58	-2.80	-3.75	-8.23	-3.78	9.06
330	-5.79	3.73	-4.36	-35.18	-9.13	-9.05	-2.86	-2.89	-22.14	-43.39	48.71
360	-22.76	-7.47	28.86	-40.72	-2.84	-8.52	-3.55	-2.71	-0.28	-59.42	59.42

Nilai gaya pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	18.62	-59.23	99.22	70.20	18.80	-5.86	6.83	-8.78	143.47	-3.67	143.52
30	20.01	-20.59	7.99	16.26	9.48	5.09	7.96	-2.55	45.44	-1.79	45.47
60	7.11	-4.55	1.06	1.80	3.08	2.15	6.43	-1.72	17.67	-2.32	17.82
90	56.36	-4.83	10.15	-10.22	-4.66	-2.74	5.50	-1.97	67.36	-19.76	70.20
120	90.54	60.33	74.38	-33.05	8.58	-36.08	4.23	-2.76	177.73	-11.56	178.10
150	-1.49	-4.54	12.81	0.86	23.17	-21.62	5.18	-3.75	39.67	-29.05	49.17
180	0.92	0.06	0.64	2.13	7.92	-7.88	7.02	-4.25	16.50	-9.94	19.26
210	12.17	-10.96	-9.78	-9.71	72.42	-7.60	6.21	-4.57	81.03	-32.84	87.43
240	65.37	-26.40	15.77	-66.00	78.37	52.62	5.34	-5.63	164.85	-45.41	170.99
270	16.69	4.65	25.83	-30.17	-12.08	-20.05	7.52	-6.82	37.96	-52.39	64.69
300	-3.42	2.51	8.60	-12.20	-1.43	-4.47	9.47	-6.97	13.23	-21.14	24.94
330	-9.42	-15.49	89.88	-10.45	22.43	-22.83	7.33	-7.06	110.22	-55.83	123.55
360	18.62	-59.23	99.22	70.20	18.80	-5.86	6.83	-8.78	143.47	-3.67	143.52

LAMPIRAN IIC.3

Nilai torsi pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-53.27	-12.90	54.42	-75.64	-1.57	-7.79	-6.19	-5.40	-6.61	-101.73	101.94
30	-13.48	-12.60	10.18	-5.31	2.78	-7.52	-1.84	-5.86	-2.37	-31.29	31.38
60	-3.36	-3.60	0.61	-0.76	2.18	-2.00	-1.31	-4.80	-1.89	-11.16	11.32
90	-3.75	-38.06	-8.06	-7.18	-1.73	3.42	-1.56	-3.97	-15.1	-45.79	48.22
120	40.57	-60.94	-24.98	-54.70	-24.08	-6.00	-2.17	-3.07	-10.6	-124.7	125.17
150	-6.98	3.40	0.66	-9.31	-16.13	-15.24	-2.93	-4.17	-25.3	-25.31	35.85
180	-1.16	-0.32	2.59	-0.68	-5.91	-3.77	-3.10	-5.43	-7.57	-10.18	12.69
210	-8.54	-8.75	-11.27	7.23	-6.02	-51.91	-3.42	-4.37	-29.2	-57.79	64.77
240	-18.67	-44.26	-30.08	-11.50	37.93	-56.00	-4.48	-4.12	-15.3	-115.8	116.89
270	4.26	-14.52	-22.98	-17.88	-16.28	9.41	-5.51	-6.42	-40.5	-29.41	50.06
300	1.91	2.26	-9.51	-4.36	-3.68	1.41	-5.51	-7.93	-16.8	-8.61	18.88
330	-10.71	2.49	-7.41	-61.34	-18.29	-16.86	-5.16	-5.61	-41.5	-81.33	91.34
360	-53.27	-12.90	54.42	-75.64	-1.57	-7.79	-6.19	-5.40	-6.61	-101.7	101.94

Nilai gaya pada *Diffuser* Model II, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	31.80	-137.10	186.10	133.90	15.60	-2.29	13.69	-15.51	247.19	-21.00	248.08
30	30.80	-34.17	13.03	25.49	19.47	8.10	14.63	-4.62	77.93	-5.20	78.10
60	11.38	-8.11	1.89	1.48	5.89	4.61	12.01	-3.26	31.16	-5.27	31.60
90	98.52	-8.97	18.15	-19.84	-7.87	-4.79	9.98	-3.90	118.78	-37.50	124.56
120	149.90	99.69	136.50	-62.15	15.29	-61.98	7.88	-5.50	309.57	-29.94	311.02
150	-8.48	-17.80	24.21	2.41	37.04	-40.73	10.56	-7.37	63.33	-63.49	89.67
180	0.77	-2.83	2.42	5.42	13.09	-14.98	13.74	-7.76	30.02	-20.16	36.16
210	21.55	-21.09	-17.13	-28.52	133.30	-14.46	11.15	-8.52	148.87	-72.59	165.62
240	108.40	-45.33	28.43	-79.29	134.50	91.20	10.51	-11.19	281.84	-44.61	285.35
270	36.98	11.84	42.89	-57.65	-23.56	-41.04	16.00	-13.70	72.31	-100.55	123.85
300	-3.85	4.01	15.34	-24.11	-3.52	-9.30	20.00	-13.75	27.98	-43.15	51.42
330	-6.10	-28.89	156.50	-17.86	41.02	-44.94	14.34	-12.89	205.76	-104.58	230.82
360	31.80	-137.10	186.10	133.90	15.60	-2.29	13.69	-15.51	247.19	-21.00	248.08

LAMPIRAN IIIA.1

Nilai torsi pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-16.19	-4.08	18.32	-26.58	-2.11	-7.21	-1.37	-1.18	-1.34	-39.05	39.08
30	-3.97	-4.83	2.43	-0.98	0.68	-0.99	-0.61	-1.50	-1.46	-8.30	8.43
60	-0.67	-1.78	0.62	-0.09	0.19	-0.38	-0.31	-1.12	-0.17	-3.37	3.38
90	-1.00	-12.50	-1.55	-2.11	-1.00	1.06	-0.37	-0.97	-3.92	-14.52	15.03
120	14.23	-21.52	-4.91	-12.37	-9.94	-1.55	-0.52	-0.74	-1.14	-36.18	36.20
150	-0.74	0.23	-0.46	-1.80	-3.53	-5.36	-0.71	-0.84	-5.44	-7.76	9.48
180	-0.02	-0.18	-0.07	0.18	-1.17	-1.98	-0.80	-1.11	-2.06	-3.08	3.71
210	-2.12	-2.86	0.23	1.73	-1.46	-14.84	-0.82	-1.09	-4.17	-17.06	17.56
240	-3.99	-11.30	-21.45	-2.06	15.69	-23.25	-0.91	-0.88	-10.67	-37.50	38.99
270	-0.32	-1.55	-4.32	-5.75	-1.86	1.09	-1.09	-1.08	-7.59	-7.30	10.53
300	0.44	0.63	-1.57	-2.08	-0.90	0.18	-1.10	-1.44	-3.12	-2.71	4.13
330	-3.56	2.43	-1.79	-16.50	-3.91	-4.33	-1.07	-1.38	-10.33	-19.77	22.31
360	-16.19	-4.08	18.32	-26.58	-2.11	-7.21	-1.37	-1.18	-1.34	-39.05	39.08

Nilai gaya pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	10.08	-42.15	65.72	45.26	17.59	-5.01	2.99	-3.40	96.38	-5.30	96.52
30	12.21	-10.61	2.58	5.98	2.61	1.77	3.76	-1.51	21.15	-4.37	21.60
60	4.76	-1.70	0.15	1.47	1.02	0.58	2.81	-0.77	8.74	-0.42	8.75
90	32.34	-2.60	5.14	-3.83	-2.97	-2.62	2.44	-0.91	36.95	-9.96	38.27
120	53.42	35.28	30.97	-12.21	3.91	-24.05	1.88	-1.31	90.17	-2.29	90.20
150	-0.58	-1.80	4.71	-1.15	13.60	-9.42	2.12	-1.77	19.85	-14.15	24.38
180	0.34	-0.23	-0.46	-0.16	5.20	-2.99	2.80	-2.02	7.88	-5.40	9.55
210	7.00	-5.36	-4.51	0.43	38.39	-3.81	2.76	-2.05	43.65	-10.77	44.96
240	28.26	-9.95	5.09	-52.72	57.45	38.75	2.25	-2.30	93.05	-26.22	96.68
270	3.80	-0.86	14.66	-11.39	-2.72	-4.60	2.72	-2.76	18.46	-19.60	26.92
300	-1.73	1.05	5.52	-4.02	-0.59	-2.53	3.61	-2.77	6.81	-8.27	10.71
330	-6.06	-8.68	42.71	-4.62	10.68	-9.92	3.46	-2.67	50.80	-25.88	57.01
360	10.08	-42.15	65.72	45.26	17.59	-5.01	2.99	-3.40	96.38	-5.30	96.52

LAMPIRAN IIIA.2

Nilai torsi pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-24.63	-7.87	40.36	-55.89	-3.96	-13.90	-2.83	-2.95	8.94	-80.61	81.11
30	-8.15	-8.71	3.69	-1.53	1.38	-3.71	-1.41	-3.64	-4.48	-17.60	18.16
60	-1.70	-3.17	0.30	-0.20	0.85	-0.84	-0.81	-2.85	-1.36	-7.06	7.19
90	-2.59	-27.10	-4.76	-5.01	-2.20	2.16	-0.99	-2.32	-10.54	-32.27	33.95
120	29.66	-44.50	-13.21	-30.69	-16.08	-4.00	-1.38	-1.72	-1.01	-80.91	80.91
150	-5.26	2.28	-0.26	-5.17	-8.33	-9.89	-1.82	-2.31	-15.67	-15.08	21.75
180	-1.41	-0.25	0.86	0.23	-3.06	-3.73	-1.92	-3.20	-5.53	-6.94	8.88
210	-5.96	-6.61	-3.82	4.07	-3.89	-33.72	-1.91	-2.86	-15.58	-39.12	42.10
240	-9.44	-24.81	-28.27	-6.89	35.53	-51.87	-2.27	-2.24	-4.45	-85.82	85.93
270	0.94	-6.67	-10.42	-11.25	-5.75	2.53	-2.74	-3.10	-17.97	-18.49	25.78
300	1.79	0.73	-4.04	-4.00	-2.91	0.41	-2.69	-4.23	-7.85	-7.09	10.57
330	-5.65	4.19	-4.38	-37.01	-10.69	-10.45	-2.45	-3.69	-23.17	-46.95	52.36
360	-24.63	-7.87	40.36	-55.89	-3.96	-13.90	-2.83	-2.95	8.94	-80.61	81.11

Nilai gaya pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	19.72	-61.11	138.50	100.10	33.13	-9.05	7.47	-7.14	198.82	22.79	200.12
30	22.11	-21.71	3.99	9.09	9.65	3.52	9.09	-3.51	44.85	-12.60	46.58
60	8.59	-4.45	0.50	0.50	2.33	2.36	7.15	-2.02	18.58	-3.61	18.93
90	70.10	-6.78	12.44	-11.83	-6.01	-5.58	5.86	-2.48	82.39	-26.68	86.61
120	110.30	73.44	76.79	-32.92	10.26	-39.03	4.39	-3.49	201.74	-2.00	201.74
150	-5.72	-12.93	13.31	-0.72	25.32	-21.99	5.84	-4.62	38.75	-40.26	55.88
180	0.52	-4.08	-0.72	2.19	10.02	-7.94	8.07	-4.85	17.89	-14.68	23.14
210	16.33	-15.13	-10.23	-9.16	87.33	-10.16	7.24	-4.82	100.67	-39.27	108.06
240	62.11	-23.68	17.15	-72.09	128.10	87.77	5.70	-5.76	213.06	-13.76	213.51
270	17.18	2.43	28.81	-27.46	-6.44	-14.37	7.80	-6.91	47.35	-46.31	66.23
300	-1.95	4.51	10.84	-10.47	-1.15	-8.08	10.61	-6.73	18.35	-20.77	27.72
330	-10.94	-14.04	95.76	-11.26	25.96	-27.03	9.29	-6.15	120.07	-58.48	133.55
360	19.72	-61.11	138.50	100.10	33.13	-9.05	7.47	-7.14	198.82	22.79	200.12

LAMPIRAN IIIA.3

Nilai torsi pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-48.61	-14.29	63.40	-85.38	-10.44	-32.34	-4.94	-6.10	-0.59	-138.1	138.11
30	-13.62	-13.39	5.09	-2.14	2.29	-7.73	-2.54	-6.68	-8.78	-29.94	31.20
60	-3.18	-4.91	-0.30	-0.27	1.81	-1.45	-1.54	-5.36	-3.21	-11.99	12.41
90	-4.86	-47.49	-9.37	-8.99	-3.38	3.46	-1.93	-4.21	-19.5	-57.23	60.47
120	51.33	-77.05	-24.93	-56.30	-29.01	-6.62	-2.68	-3.25	-5.29	-143.2	143.31
150	-11.28	5.34	0.35	-9.94	-15.38	-15.61	-3.49	-4.70	-29.7	-24.91	38.84
180	-3.54	-0.17	2.24	-0.10	-5.93	-6.07	-3.58	-6.61	-10.8	-12.94	16.86
210	-11.87	-11.87	-11.85	7.28	-7.31	-60.49	-3.49	-5.41	-34.5	-70.49	78.49
240	-16.73	-42.92	-29.61	-12.37	64.80	-93.39	-4.38	-4.43	14.08	-153.1	153.76
270	2.45	-14.63	-19.25	-18.54	-8.52	3.22	-5.18	-6.36	-30.4	-36.31	47.42
300	3.22	-0.14	-7.79	-6.83	-5.58	0.82	-5.05	-9.00	-15.1	-15.15	21.46
330	-10.67	4.21	-7.50	-63.57	-20.14	-18.16	-4.49	-7.79	-42.8	-85.31	95.44
360	-48.61	-14.29	63.40	-85.38	-10.44	-32.34	-4.94	-6.10	-0.59	-138.1	138.11

Nilai gaya pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	35.98	-120.70	211.50	157.40	79.58	-25.35	15.35	-12.44	342.41	-1.09	342.41
30	33.95	-36.21	5.53	12.54	20.01	5.82	16.69	-6.32	76.18	-24.17	79.92
60	13.49	-8.40	0.83	-1.22	4.08	4.95	13.44	-3.85	31.84	-8.53	32.96
90	122.80	-12.80	22.50	-23.32	-9.72	-8.48	10.64	-4.85	146.23	-49.45	154.36
120	190.70	127.00	140.90	-62.20	17.31	-70.43	8.26	-6.79	357.17	-12.42	357.38
150	-13.43	-27.86	25.63	0.71	40.13	-40.64	11.84	-8.78	64.17	-76.57	99.91
180	0.31	-10.01	-0.04	5.70	16.54	-15.48	16.63	-8.99	33.44	-28.78	44.12
210	29.40	-30.15	-18.55	-28.59	156.70	-19.12	13.69	-8.81	181.24	-86.67	200.90
240	107.20	-41.84	31.30	-74.19	230.80	160.20	11.23	-11.09	380.53	33.08	381.97
270	37.98	6.23	47.63	-50.81	-8.34	-21.63	15.94	-12.97	93.22	-79.18	122.31
300	0.14	8.10	18.63	-20.17	-2.12	-15.45	22.55	-12.64	39.20	-40.16	56.12
330	-11.56	-26.63	164.40	-19.31	45.12	-50.89	19.61	-11.30	217.57	-108.13	242.96
360	35.98	-120.70	211.50	157.40	79.58	-25.35	15.35	-12.44	342.41	-1.09	342.41

LAMPIRAN IIIB.1

Nilai torsi pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-20.34	-3.57	16.60	-24.75	-3.78	-10.76	-1.26	-1.24	-8.77	-40.33	41.27
30	-4.49	-4.92	3.47	-1.77	0.79	-0.96	-0.47	-1.40	-0.70	-9.05	9.08
60	-0.64	-1.32	0.77	0.04	0.02	-0.54	-0.28	-1.07	-0.14	-2.89	2.89
90	-1.15	-11.75	-1.24	-1.72	-0.59	0.85	-0.31	-0.97	-3.29	-13.58	13.98
120	13.94	-21.09	-4.79	-12.00	-8.73	-1.05	-0.45	-0.78	-0.02	-34.92	34.92
150	1.11	-0.70	-0.39	-1.84	-3.81	-5.56	-0.61	-0.85	-3.71	-8.95	9.68
180	0.42	0.01	-0.20	-0.01	-1.10	-1.36	-0.74	-1.08	-1.62	-2.44	2.93
210	-1.70	-2.32	-0.03	1.74	-1.56	-13.89	-0.76	-1.12	-4.05	-15.58	16.10
240	-4.34	-11.96	-19.20	-1.66	14.46	-21.83	-0.85	-0.96	-9.93	-36.41	37.74
270	-0.48	-1.40	-4.55	-6.00	-1.30	1.08	-1.00	-1.09	-7.32	-7.40	10.41
300	0.23	0.69	-1.54	-1.38	-0.82	0.45	-1.04	-1.35	-3.17	-1.59	3.55
330	-2.90	1.93	-2.02	-16.16	-2.90	-3.34	-1.02	-1.35	-8.84	-18.92	20.88
360	-20.34	-3.57	16.60	-24.75	-3.78	-10.76	-1.26	-1.24	-8.77	-40.33	41.27

Nilai gaya pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	9.18	-50.01	61.59	41.33	25.91	-9.02	3.02	-3.07	99.70	-20.76	101.84
30	12.27	-11.40	4.30	8.71	2.40	2.19	3.49	-1.17	22.46	-1.68	22.52
60	4.48	-1.77	-0.02	2.02	1.52	-0.05	2.66	-0.69	8.64	-0.49	8.66
90	29.39	-2.70	4.40	-3.39	-2.47	-1.47	2.42	-0.76	33.75	-8.32	34.76
120	52.42	34.63	30.06	-12.06	2.72	-21.87	1.95	-1.10	87.15	-0.40	87.15
150	1.72	2.73	4.61	-0.85	13.89	-9.66	2.09	-1.52	22.31	-9.30	24.17
180	0.10	1.23	0.18	-0.71	4.69	-2.92	2.65	-1.83	7.62	-4.24	8.72
210	5.92	-4.72	-4.42	-0.06	34.74	-3.72	2.73	-1.86	38.97	-10.36	40.32
240	30.04	-10.97	4.13	-48.50	54.24	35.95	2.33	-2.08	90.74	-25.60	94.28
270	3.14	-0.98	14.94	-11.57	-2.69	-3.30	2.64	-2.48	18.03	-18.33	25.71
300	-1.50	0.30	4.92	-4.08	-0.95	-1.65	3.28	-2.56	5.74	-7.99	9.84
330	-5.00	-7.55	40.56	-4.82	8.61	-8.09	3.27	-2.46	47.44	-22.93	52.69
360	9.18	-50.01	61.59	41.33	25.91	-9.02	3.02	-3.07	99.70	-20.76	101.84

LAMPIRAN IIIB.2

Nilai torsi pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-19.66	-7.27	39.78	-57.33	-7.18	-19.45	-3.06	-2.92	9.88	-86.97	87.53
30	-8.98	-8.99	6.17	-3.29	1.55	-3.59	-1.09	-3.39	-2.36	-19.26	19.41
60	-1.59	-2.28	0.57	-0.13	0.52	-1.29	-0.71	-2.69	-1.22	-6.40	6.51
90	-2.66	-25.32	-3.97	-4.07	-1.28	1.71	-0.85	-2.34	-8.75	-30.02	31.26
120	28.62	-42.99	-13.13	-30.18	-14.79	-3.15	-1.20	-1.80	-0.50	-78.12	78.12
150	-2.10	0.88	-0.26	-5.15	-8.81	-10.69	-1.57	-2.21	-12.73	-17.17	21.38
180	-0.95	-0.04	0.54	-0.12	-2.78	-2.46	-1.75	-2.96	-4.93	-5.58	7.45
210	-4.32	-5.09	-2.65	3.55	-3.94	-31.96	-1.82	-2.83	-12.72	-36.34	38.50
240	-10.50	-27.20	-32.59	-6.14	31.73	-47.55	-2.17	-2.35	-13.53	-83.25	84.34
270	0.47	-6.15	-11.43	-11.90	-6.46	3.87	-2.55	-3.07	-19.97	-17.25	26.39
300	1.09	0.78	-3.98	-2.69	-3.22	0.92	-2.62	-4.06	-8.73	-5.05	10.09
330	-5.53	4.61	-4.91	-37.92	-8.59	-8.38	-2.52	-3.47	-21.54	-45.15	50.03
360	-19.66	-7.27	39.78	-57.33	-7.18	-19.45	-3.06	-2.92	9.88	-86.97	87.53

Nilai gaya pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	18.22	-50.00	143.20	99.46	45.74	-16.56	7.06	-7.56	214.22	25.34	215.71
30	22.55	-22.85	8.00	15.44	9.01	4.30	8.45	-2.73	48.01	-5.85	48.37
60	8.17	-4.43	0.41	1.78	3.60	1.18	6.71	-1.75	18.89	-3.22	19.16
90	63.39	-6.25	10.74	-10.63	-4.88	-3.24	5.87	-2.09	75.12	-22.21	78.33
120	106.90	71.16	75.44	-32.87	8.11	-37.54	4.48	-2.96	194.93	-2.21	194.94
150	-2.12	-5.28	12.79	-0.37	26.79	-22.45	5.46	-3.90	42.93	-32.01	53.55
180	0.27	-1.56	0.62	1.00	9.05	-7.51	7.32	-4.30	17.26	-12.37	21.24
210	13.26	-12.05	-8.89	-6.62	80.29	-9.41	6.99	-4.46	91.65	-32.53	97.25
240	68.57	-26.66	15.47	-81.39	118.50	79.13	5.75	-5.36	208.29	-34.28	211.09
270	14.65	1.69	29.81	-28.97	-9.55	-16.29	7.52	-6.33	42.43	-49.91	65.50
300	-1.57	2.34	10.19	-10.63	-2.11	-6.74	10.02	-6.47	16.53	-21.50	27.12
330	-12.07	-13.95	95.43	-11.67	21.83	-23.63	8.50	-6.20	113.69	-55.45	126.49
360	18.22	-50.00	143.20	99.46	45.74	-16.56	7.06	-7.56	214.22	25.34	215.71

LAMPIRAN IIIB.3

Nilai torsi pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-45.17	-13.13	69.94	-97.87	-11.52	-32.66	-5.40	-5.80	7.85	-149.4	149.66
30	-14.88	-13.93	9.55	-5.28	2.54	-7.49	-1.98	-6.23	-4.78	-32.92	33.26
60	-2.92	-3.53	0.13	-0.33	1.27	-2.35	-1.36	-5.05	-2.88	-11.26	11.62
90	-4.82	-44.25	-7.84	-7.22	-2.06	2.93	-1.66	-4.25	-16.3	-52.79	55.28
120	48.90	-73.63	-25.05	-55.81	-25.28	-5.76	-2.33	-3.31	-3.76	-138.5	138.56
150	-7.09	3.75	0.11	-9.98	-16.42	-17.19	-2.97	-4.37	-26.3	-27.80	38.31
180	-3.38	0.16	1.71	-0.65	-5.30	-3.98	-3.20	-5.92	-10.1	-10.40	14.55
210	-8.33	-8.98	-9.23	6.47	-7.34	-58.17	-3.34	-5.23	-28.2	-65.92	71.71
240	-19.21	-48.10	-29.45	-11.59	57.62	-86.03	-4.21	-4.46	4.75	-150.1	150.26
270	2.08	-14.06	-21.13	-20.31	-12.52	7.07	-4.87	-6.22	-36.4	-33.52	49.52
300	1.82	0.78	-7.63	-4.27	-6.69	1.69	-4.85	-8.32	-17.3	-10.13	20.10
330	-7.65	3.91	-8.70	-68.02	-17.53	-15.70	-4.63	-6.95	-38.5	-86.76	94.92
360	-45.17	-13.13	69.94	-97.87	-11.52	-32.66	-5.40	-5.80	7.85	-149.4	149.66

Nilai gaya pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	32.88	-114.30	244.60	175.00	77.78	-26.85	14.26	-13.39	369.52	20.46	370.09
30	34.99	-37.85	12.82	23.87	18.79	7.03	15.52	-4.95	82.12	-11.89	82.98
60	13.02	-8.16	0.87	1.08	6.51	3.05	12.59	-3.33	33.00	-7.36	33.81
90	110.80	-11.38	19.39	-20.92	-8.26	-5.31	10.65	-4.09	132.59	-41.71	138.99
120	183.30	121.70	139.50	-62.64	14.75	-64.12	8.21	-5.72	345.76	-10.78	345.93
150	-9.13	-17.79	24.55	0.68	43.22	-41.77	10.84	-7.39	69.48	-66.27	96.02
180	-0.22	-6.57	2.11	3.76	15.15	-14.39	14.70	-7.88	31.74	-25.08	40.45
210	23.52	-23.30	-16.20	-22.56	146.50	-17.56	12.95	-8.22	166.77	-71.64	181.50
240	120.80	-48.53	29.17	-74.66	214.80	144.00	10.90	-10.38	375.67	10.43	375.81
270	34.01	6.02	51.10	-53.74	-17.43	-31.49	15.34	-12.09	83.02	-91.30	123.40
300	-1.42	4.14	16.85	-20.43	-3.96	-14.17	20.63	-12.01	32.10	-42.47	53.24
330	-10.51	-19.84	171.30	-20.59	41.00	-48.24	17.22	-11.44	219.01	-100.11	240.81
360	32.88	-114.30	244.60	175.00	77.78	-26.85	14.26	-13.39	369.52	20.46	370.09

LAMPIRAN IIIC.1

Nilai torsi pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-2.71	-4.83	-1.59	1.05	0.18	-1.13	-1.43	-1.46	-5.56	-6.37	8.45
30	-2.96	-3.40	2.95	-1.15	0.91	-0.60	-0.37	-1.32	0.53	-6.47	6.49
60	-0.75	-2.31	0.60	-0.09	0.14	-0.49	-0.23	-1.01	-0.24	-3.91	3.92
90	0.95	-14.66	-3.58	-4.71	-4.50	2.66	-0.25	-0.86	-7.39	-17.58	19.07
120	8.26	-8.89	-2.06	-8.90	-7.50	-5.90	-0.41	-0.71	-1.71	-24.40	24.46
150	1.47	-0.42	0.07	-0.69	-1.42	-2.55	-0.55	-0.80	-0.43	-4.46	4.48
180	-0.10	-0.87	-0.70	0.94	-1.12	-6.07	-0.61	-0.93	-2.52	-6.93	7.37
210	-5.32	-10.51	-4.35	1.07	8.76	-22.28	-0.69	-0.81	-1.59	-32.54	32.57
240	0.13	-2.36	-9.71	-9.50	0.71	-0.38	-0.82	-0.92	-9.70	-13.16	16.34
270	0.34	0.53	-1.38	-2.01	-0.30	0.33	-0.88	-1.17	-2.22	-2.32	3.21
300	-1.63	2.38	-1.44	-16.20	-3.44	-4.33	-0.92	-1.15	-7.43	-19.29	20.67
330	-17.56	-4.17	8.66	-11.65	-0.74	-5.62	-1.20	-1.13	-10.84	-22.57	25.03
360	-2.71	-4.83	-1.59	1.05	0.18	-1.13	-1.43	-1.46	-5.56	-6.37	8.45

Nilai gaya pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	11.95	-6.73	-2.73	-3.97	2.96	0.90	3.75	-3.58	15.92	-13.38	20.80
30	9.29	-7.51	3.07	7.76	1.43	2.53	3.29	-0.92	17.07	1.87	17.17
60	6.05	-1.68	0.32	1.41	1.01	0.42	2.52	-0.55	9.90	-0.40	9.91
90	36.52	2.33	11.60	-8.42	-6.83	-10.91	2.15	-0.62	43.44	-17.62	46.88
120	22.20	20.76	22.43	-5.11	14.64	-18.66	1.78	-1.00	61.05	-4.01	61.18
150	0.90	3.67	1.62	-0.37	6.24	-3.98	2.00	-1.34	10.76	-2.01	10.94
180	1.87	-0.69	-2.24	-1.59	15.40	-3.08	2.35	-1.50	17.37	-6.86	18.68
210	26.18	-13.40	-2.58	-9.94	55.66	21.83	2.07	-1.72	81.32	-3.23	81.39
240	6.19	0.31	23.71	-24.52	0.91	1.69	2.35	-2.06	33.15	-24.57	41.27
270	-1.22	0.56	6.03	-3.70	-0.68	-0.94	2.96	-2.19	7.09	-6.28	9.47
300	-6.18	-4.11	40.89	-3.37	10.79	-8.47	2.94	-2.31	48.44	-18.26	51.77
330	10.63	-44.06	29.26	21.75	13.77	-1.84	2.93	-3.03	56.59	-27.18	62.78
360	11.95	-6.73	-2.73	-3.97	2.96	0.90	3.75	-3.58	15.92	-13.38	20.80

LAMPIRAN IIIC.2

Nilai torsi pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-19.98	-6.75	36.74	-54.55	-10.70	-26.73	-2.58	-2.26	3.48	-90.29	90.36
30	-7.44	-7.72	8.03	-3.84	1.26	-3.51	-0.90	-3.22	0.94	-18.29	18.32
60	-1.51	-4.31	0.93	-0.32	0.63	-1.40	-0.62	-2.56	-0.57	-8.57	8.59
90	-2.65	-21.37	-4.93	-4.66	-0.71	1.78	-0.68	-2.29	-8.97	-26.55	28.02
120	28.19	-43.88	-13.25	-30.20	-15.51	-2.53	-0.87	-1.67	-1.44	-78.28	78.29
150	1.26	-1.46	-0.47	-5.36	-7.16	-9.32	-1.19	-1.80	-7.56	-17.95	19.47
180	0.37	-0.51	0.57	-0.73	-2.53	-4.69	-1.40	-2.46	-2.99	-8.38	8.90
210	-5.49	-5.46	-2.39	3.97	-3.72	-26.68	-1.46	-2.47	-13.05	-30.64	33.30
240	-11.43	-29.18	-33.98	-5.57	30.00	-45.12	-1.63	-1.90	-17.04	-81.77	83.53
270	-0.32	-4.14	-9.75	-10.26	-4.90	2.82	-1.99	-2.43	-16.95	-14.01	21.99
300	1.46	0.16	-3.76	-5.41	-1.71	0.57	-2.04	-3.28	-6.06	-7.95	9.99
330	-7.28	5.79	-4.98	-33.75	-9.21	-7.99	-2.12	-2.91	-23.59	-38.86	45.46
360	-19.98	-6.75	36.74	-54.55	-10.70	-26.73	-2.58	-2.26	3.48	-90.29	90.36

Nilai gaya pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	17.10	-50.22	136.90	92.25	64.77	-25.68	5.76	-6.50	224.53	9.85	224.75
30	19.33	-18.76	9.65	20.33	8.65	3.27	8.03	-2.21	45.65	2.64	45.73
60	12.20	-4.56	0.88	2.31	3.29	1.37	6.37	-1.45	22.74	-2.33	22.86
90	52.66	-6.94	11.65	-11.64	-4.53	-1.91	5.74	-1.63	65.52	-22.12	69.15
120	109.60	70.39	75.45	-33.07	6.42	-40.30	4.20	-2.17	195.67	-5.15	195.74
150	3.58	3.03	13.17	-1.13	23.20	-18.15	4.58	-3.01	44.53	-19.26	48.51
180	1.31	0.74	1.52	1.01	13.45	-7.20	6.21	-3.47	22.49	-8.93	24.19
210	13.82	-13.10	-9.66	-5.46	65.67	-9.64	6.22	-3.60	76.05	-31.79	82.43
240	72.98	-28.51	14.02	-85.59	112.90	75.12	4.84	-4.09	204.74	-43.07	209.22
270	10.42	-0.48	25.52	-24.49	-7.24	-12.65	6.16	-5.04	34.86	-42.66	55.09
300	-0.57	3.01	15.78	-10.51	-1.37	-4.57	8.18	-5.05	22.02	-17.13	27.90
330	-14.49	-17.73	82.99	-12.76	20.23	-22.55	7.28	-5.26	96.01	-58.30	112.32
360	17.10	-50.22	136.90	92.25	64.77	-25.68	5.76	-6.50	224.53	9.85	224.75

LAMPIRAN IIIC.3

Nilai torsi pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-45.76	-11.93	69.19	-101.0	-17.07	-42.31	-4.66	-4.61	1.70	-159.8	159.86
30	-12.28	-11.67	12.87	-6.41	2.15	-7.29	-1.63	-5.91	1.11	-31.28	31.30
60	-2.75	-7.14	0.89	-0.69	1.45	-2.56	-1.16	-4.77	-1.57	-15.16	15.24
90	-4.63	-37.34	-9.46	-8.42	-1.00	2.97	-1.33	-4.19	-16.4	-46.98	49.76
120	47.80	-74.47	-25.2	-56.06	-25.65	-4.94	-1.71	-3.05	-4.83	-138.5	138.60
150	-1.82	-0.32	-0.36	-10.02	-13.35	-14.72	-2.38	-3.68	-17.9	-28.75	33.87
180	-1.09	-0.86	1.64	-1.67	-4.83	-8.23	-2.67	-5.14	-6.95	-15.89	17.35
210	-10.22	-9.61	-8.56	7.12	-6.95	-49.22	-2.71	-4.73	-28.4	-56.44	63.20
240	-21.26	-52.79	-31.4	-10.78	53.08	-80.06	-3.22	-3.61	-2.87	-147.2	147.27
270	0.72	-9.60	-17.9	-17.26	-12.41	7.10	-4.03	-5.21	-33.6	-24.97	41.93
300	2.39	0.24	-7.23	-9.85	-4.28	1.28	-4.13	-7.05	-13.2	-15.39	20.31
330	-9.10	5.41	-9.11	-62.96	-19.53	-15.69	-3.97	-5.65	-41.7	-78.89	89.24
360	-45.76	-11.93	69.19	-101.0	-17.07	-42.31	-4.66	-4.61	1.70	-159.8	159.86

Nilai gaya pada *Diffuser* Model III, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	30.00	-115.30	254.70	174.30	102.20	-40.76	11.73	-11.77	398.63	6.47	398.68
30	29.49	-31.00	16.11	32.60	18.07	5.57	14.73	-3.98	78.40	3.18	78.46
60	20.29	-8.22	1.86	2.16	5.97	3.38	11.89	-2.73	40.01	-5.40	40.37
90	92.04	-12.01	21.01	-22.49	-7.45	-2.99	10.48	-3.19	116.08	-40.68	123.00
120	186.00	119.40	140.10	-63.11	12.53	-66.15	7.68	-4.26	346.31	-14.12	346.60
150	0.66	-4.86	24.65	-0.88	36.90	-33.76	9.30	-5.96	71.50	-45.46	84.73
180	2.16	-2.99	3.54	3.58	23.69	-13.67	12.87	-6.57	42.26	-19.65	46.60
210	24.28	-24.56	-17.41	-20.55	121.20	-17.84	11.84	-6.71	139.91	-69.66	156.29
240	131.90	-53.04	27.00	-81.58	200.70	133.20	9.17	-8.10	368.77	-9.52	368.89
270	24.04	2.30	43.22	-45.21	-18.03	-31.81	13.11	-10.11	62.34	-84.83	105.27
300	-0.85	5.31	28.87	-20.13	-2.99	-11.26	17.50	-10.12	42.53	-36.20	55.85
330	-13.55	-22.56	155.10	-23.24	39.61	-47.97	14.12	-9.87	195.28	-103.64	221.08
360	30.00	-115.30	254.70	174.30	102.20	-40.76	11.73	-11.77	398.63	6.47	398.68

LAMPIRAN IVA.1

Nilai torsi pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-20.07	-3.75	-2.75	-9.27	20.37	-30.28	-0.99	-1.03	-3.44	-44.33	44.46
30	-3.93	-4.44	0.84	-0.90	3.51	-1.70	-0.50	-1.47	-0.08	-8.51	8.51
60	-0.53	-2.80	0.26	-0.45	0.62	0.08	-0.27	-1.11	0.07	-4.28	4.28
90	-1.00	-12.43	-0.87	0.97	-1.57	-1.78	-0.30	-0.99	-3.75	-14.23	14.71
120	15.77	-23.86	-9.87	-1.13	-4.84	-12.38	-0.42	-0.73	0.65	-38.10	38.10
150	0.34	-0.46	-3.38	-4.92	-0.37	-1.74	-0.58	-0.72	-4.00	-7.84	8.80
180	0.10	-0.01	-0.90	-3.02	0.08	0.14	-0.67	-0.94	-1.38	-3.83	4.07
210	-2.09	-2.36	-1.37	-14.43	0.03	1.86	-0.66	-0.99	-4.08	-15.92	16.43
240	-3.92	-11.29	17.93	-26.89	-20.28	-1.83	-0.71	-0.79	-6.98	-40.80	41.39
270	-0.44	-0.95	-0.79	0.42	-3.95	-5.25	-0.87	-0.88	-6.05	-6.67	9.00
300	0.58	0.61	-0.93	0.39	-1.20	-3.24	-0.87	-1.19	-2.42	-3.42	4.19
330	-3.27	2.40	-3.39	-3.22	-1.69	-15.92	-0.82	-1.24	-9.17	-17.99	20.19
360	-20.07	-3.75	-2.75	-9.27	20.37	-30.28	-0.99	-1.03	-3.44	-44.33	44.46

Nilai gaya pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	9.24	-50.39	24.34	-7.47	75.77	51.04	2.72	-2.53	112.08	-9.35	112.47
30	11.15	-10.04	2.33	2.48	4.03	8.65	3.66	-1.27	21.16	-0.19	21.16
60	6.93	-1.15	1.11	0.64	-0.12	1.62	2.76	-0.70	10.68	0.42	10.68
90	30.06	-2.84	-2.23	-2.12	4.54	-4.07	2.47	-0.78	34.85	-9.81	36.20
120	59.87	39.66	2.84	-24.33	31.03	-12.14	1.85	-1.08	95.59	2.12	95.61
150	1.14	0.92	12.36	-8.49	4.46	-0.54	1.92	-1.49	19.89	-9.59	22.08
180	0.10	0.32	7.38	-2.06	-0.41	0.19	2.50	-1.70	9.58	-3.25	10.11
210	5.98	-5.43	34.94	-3.80	-4.57	0.01	2.59	-1.68	38.94	-10.90	40.44
240	28.69	-9.94	67.35	45.01	4.48	-50.97	2.09	-1.82	102.60	-17.72	104.12
270	2.67	-0.59	-1.04	-1.88	13.15	-9.87	2.36	-2.23	17.13	-14.58	22.50
300	-1.73	1.34	-0.89	-2.20	7.83	-2.81	3.11	-2.23	8.32	-5.90	10.20
330	-5.64	-8.10	8.30	-8.77	38.63	-4.63	3.23	-2.08	44.52	-23.57	50.38
360	9.24	-50.39	24.34	-7.47	75.77	51.04	2.72	-2.53	112.08	-9.35	112.47

LAMPIRAN IVA.2

Nilai torsi pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-24.23	-7.42	-9.24	-25.16	47.54	-69.59	-2.16	-2.51	11.91	-104.6	105.36
30	-8.06	-8.11	1.66	-3.51	6.16	-3.15	-1.17	-3.55	-1.42	-18.31	18.37
60	-1.54	-5.53	0.82	-1.12	0.28	0.12	-0.70	-2.81	-1.15	-9.34	9.41
90	-2.56	-26.75	-1.85	1.81	-4.68	-4.35	-0.83	-2.40	-9.92	-31.70	33.21
120	33.73	-50.87	-17.16	-3.37	-13.43	-31.26	-1.10	-1.65	2.04	-87.16	87.18
150	-3.04	0.95	-7.92	-9.33	-0.21	-4.89	-1.48	-1.96	-12.6	-15.23	19.79
180	-1.51	0.03	-2.39	-6.15	0.85	0.04	-1.61	-2.81	-4.66	-8.89	10.03
210	-5.58	-5.50	-3.68	-32.88	-2.93	4.06	-1.58	-2.83	-13.7	-37.15	39.62
240	-10.22	-26.95	41.21	-61.66	-32.13	-6.45	-1.75	-2.11	-2.89	-97.16	97.21
270	0.22	-4.28	-3.80	1.40	-9.56	-10.32	-2.14	-2.61	-15.2	-15.81	21.99
300	2.18	0.66	-3.13	0.69	-3.20	-7.20	-2.21	-3.79	-6.36	-9.64	11.55
330	-6.41	5.15	-8.83	-7.54	-4.24	-36.02	-1.98	-3.54	-21.4	-41.94	47.12
360	-24.23	-7.42	-9.24	-25.16	47.54	-69.59	-2.16	-2.51	11.91	-104.6	105.36

Nilai gaya pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	18.14	-61.95	65.13	-24.15	173.70	118.80	6.54	-5.55	263.51	27.16	264.91
30	19.87	-20.50	8.88	4.69	7.52	15.17	8.86	-2.96	45.12	-3.60	45.27
60	13.31	-3.50	2.74	2.19	-0.29	0.92	7.00	-1.79	22.75	-2.19	22.86
90	64.73	-6.97	-4.17	-4.38	11.26	-12.06	6.01	-2.11	77.83	-25.52	81.91
120	127.40	84.75	8.35	-42.85	78.20	-33.60	4.26	-2.84	218.22	5.47	218.28
150	-2.22	-7.31	22.98	-19.85	12.47	0.08	5.18	-3.80	38.41	-30.88	49.28
180	-0.02	-3.47	14.64	-5.71	-0.27	2.22	7.27	-4.09	21.62	-11.05	24.28
210	14.15	-14.51	79.71	-9.89	-9.54	-6.91	7.21	-4.01	91.53	-35.32	98.11
240	68.38	-25.88	154.00	103.10	15.88	-80.15	5.45	-4.49	243.71	-7.42	243.82
270	11.37	1.12	-3.43	-9.32	25.27	-23.97	6.82	-5.47	40.04	-37.64	54.95
300	-2.00	5.47	-1.69	-7.44	16.84	-7.65	9.77	-5.61	22.92	-15.23	27.52
330	-12.34	-15.45	19.69	-23.09	87.61	-11.42	9.03	-5.03	103.99	-54.99	117.64
360	18.14	-61.95	65.13	-24.15	173.70	118.80	6.54	-5.55	263.51	27.16	264.91

LAMPIRAN IVA.3

Nilai torsi pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-49.64	-13.29	-19.1	-50.09	83.91	-121.4	-3.93	-5.25	11.22	-190.0	190.36
30	-13.52	-12.56	2.72	-7.33	9.57	-5.05	-2.12	-6.53	-3.35	-31.46	31.64
60	-3.01	-9.24	1.62	-2.05	-0.29	0.22	-1.34	-5.29	-3.03	-16.35	16.63
90	-4.82	-46.84	-2.84	2.84	-9.12	-7.89	-1.61	-4.37	-18.3	-56.27	59.19
120	59.41	-89.91	-29.9	-5.94	-25.7	-57.97	-2.13	-3.05	1.56	-156.8	156.87
150	-7.71	3.34	-14.5	-14.94	0.13	-9.31	-2.85	-3.99	-24.9	-24.91	35.25
180	-4.03	0.27	-4.77	-10.67	1.93	-0.52	-2.97	-5.80	-9.85	-16.72	19.40
210	-10.90	-9.91	-6.98	-58.77	-9.43	7.33	-2.89	-5.55	-30.2	-66.90	73.40
240	-19.55	-49.69	75.62	-113.3	-31.6	-11.85	-3.36	-4.07	21.09	-178.9	180.15
270	1.04	-9.80	-6.51	2.02	-17.2	-17.25	-4.13	-5.38	-26.8	-30.41	40.55
300	3.77	0.03	-6.33	1.04	-6.12	-12.41	-3.97	-7.67	-12.6	-19.01	22.83
330	-9.10	5.34	-16.9	-13.63	-7.81	-64.29	-3.54	-7.17	-37.4	-79.75	88.09
360	-49.64	-13.29	-19.1	-50.09	83.91	-121.4	-3.93	-5.25	11.22	-190.0	190.36

Nilai gaya pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 60 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	32.73	-124.60	128.60	-49.40	302.40	209.20	13.45	-10.04	477.18	25.16	477.84
30	30.18	-34.25	18.48	7.57	12.14	23.58	16.27	-5.34	77.07	-8.44	77.53
60	21.89	-6.94	5.01	4.40	-0.66	-0.33	13.16	-3.41	39.40	-6.28	39.90
90	113.40	-12.89	-6.60	-6.74	20.55	-23.45	10.95	-4.08	138.30	-47.16	146.12
120	225.00	149.10	14.52	-74.52	145.00	-64.41	7.88	-5.47	392.40	4.70	392.42
150	-7.96	-18.75	36.24	-36.39	23.77	1.25	10.45	-7.28	62.50	-61.17	87.45
180	-0.64	-9.43	24.94	-11.43	0.94	5.08	14.87	-7.52	40.12	-23.31	46.40
210	25.69	-28.41	142.70	-18.54	-17.11	-22.40	14.05	-7.34	165.33	-76.69	182.25
240	126.20	-49.63	282.50	188.90	29.40	-77.35	10.51	-8.61	448.61	53.31	451.77
270	25.75	3.38	-5.00	-16.11	41.64	-43.34	13.94	-10.54	76.33	-66.61	101.30
300	-0.73	9.68	-2.70	-15.00	28.39	-14.73	19.59	-10.06	44.56	-30.12	53.78
330	-12.75	-21.60	35.64	-44.26	156.60	-20.89	18.16	-9.00	197.65	-95.75	219.62
360	32.73	-124.60	128.60	-49.40	302.40	209.20	13.45	-10.04	477.18	25.16	477.84

LAMPIRAN IVB.1

Nilai torsi pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-23.12	-3.41	19.46	-29.21	-3.88	-11.26	-0.93	-1.06	-8.47	-44.94	45.73
30	-3.47	-4.53	4.25	-1.97	0.95	-0.78	-0.41	-1.37	1.34	-8.65	8.76
60	-0.47	-1.46	0.87	0.03	-0.02	-0.40	-0.25	-1.04	0.14	-2.86	2.86
90	-0.84	-10.62	-1.28	-1.96	-0.28	1.05	-0.26	-0.95	-2.66	-12.47	12.76
120	15.46	-23.18	-4.91	-12.10	-10.58	-0.86	-0.36	-0.74	-0.39	-36.88	36.88
150	2.10	-1.36	-0.34	-1.70	-2.91	-5.09	-0.49	-0.73	-1.65	-8.88	9.03
180	0.76	-0.01	-0.26	-0.09	-0.80	-1.45	-0.60	-0.92	-0.90	-2.47	2.63
210	-1.74	-2.50	-0.07	2.10	-1.14	-12.34	-0.62	-1.00	-3.57	-13.74	14.19
240	-4.36	-11.79	-19.18	-1.62	17.04	-25.57	-0.68	-0.83	-7.18	-39.82	40.46
270	-0.52	-0.93	-3.31	-5.32	-0.08	0.15	-0.82	-0.92	-4.73	-7.02	8.47
300	0.22	0.39	-1.08	-1.44	-0.37	0.36	-0.84	-1.16	-2.07	-1.85	2.78
330	-2.94	2.35	-1.50	-14.05	-2.69	-3.30	-0.79	-1.21	-7.92	-16.22	18.05
360	-23.12	-3.41	19.46	-29.21	-3.88	-11.26	-0.93	-1.06	-8.47	-44.94	45.73

Nilai gaya pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	8.25	-58.60	72.57	48.38	27.76	-9.49	2.68	-2.35	111.26	-22.05	113.42
30	11.80	-9.42	4.87	10.35	2.15	2.28	3.42	-1.01	22.24	2.21	22.35
60	4.36	-1.49	0.08	2.13	0.71	0.28	2.60	-0.61	7.74	0.31	7.75
90	27.02	-2.27	4.95	-3.22	-2.81	-0.73	2.38	-0.63	31.54	-6.86	32.27
120	57.79	38.55	30.34	-12.22	1.97	-25.42	1.87	-0.90	91.96	0.01	91.96
150	3.33	5.14	4.62	-0.87	13.41	-7.97	1.86	-1.26	23.22	-4.96	23.74
180	0.20	1.88	-0.16	-0.39	4.41	-2.37	2.36	-1.54	6.82	-2.42	7.23
210	6.31	-4.37	-5.28	-0.37	31.32	-3.06	2.55	-1.57	34.89	-9.36	36.12
240	29.52	-10.85	3.94	-46.90	63.64	42.43	2.15	-1.73	99.25	-17.05	100.71
270	2.67	-1.30	13.98	-8.86	-0.39	-0.21	2.36	-2.10	18.63	-12.48	22.42
300	-1.54	0.71	4.60	-3.14	-0.72	-1.11	2.94	-2.16	5.29	-5.70	7.78
330	-5.69	-7.20	35.64	-3.91	8.40	-6.88	3.05	-2.00	41.39	-20.00	45.97
360	8.25	-58.60	72.57	48.38	27.76	-9.49	2.68	-2.35	111.26	-22.05	113.42

LAMPIRAN IVB.2

Nilai torsi pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-19.83	-6.77	46.81	-69.85	-10.49	-27.08	-2.20	-2.44	14.29	-106.1	107.09
30	-7.01	-8.27	7.85	-3.87	1.82	-3.28	-0.94	-3.32	1.73	-18.74	18.81
60	-1.14	-2.64	0.86	-0.15	0.43	-1.02	-0.61	-2.62	-0.45	-6.43	6.45
90	-2.03	-22.62	-4.14	-4.65	-0.82	1.95	-0.70	-2.32	-7.69	-27.64	28.69
120	32.44	-48.42	-13.36	-30.48	-16.79	-3.03	-0.95	-1.69	1.34	-83.62	83.63
150	0.11	-0.86	-0.24	-4.80	-6.91	-9.73	-1.28	-1.92	-8.33	-17.32	19.22
180	-0.12	-0.22	0.35	-0.34	-1.96	-2.72	-1.46	-2.64	-3.18	-5.92	6.73
210	-4.49	-5.54	-2.06	4.41	-3.05	-28.05	-1.44	-2.69	-11.0	-31.87	33.73
240	-10.60	-27.29	-35.90	-5.72	38.60	-58.03	-1.60	-2.07	-9.50	-93.11	93.60
270	-0.18	-4.28	-8.87	-10.64	-3.86	1.80	-1.94	-2.54	-14.8	-15.66	21.57
300	1.59	0.32	-2.68	-2.87	-2.12	0.73	-2.02	-3.56	-5.21	-5.37	7.48
330	-7.00	5.88	-3.87	-32.57	-7.43	-7.66	-1.86	-3.32	-20.1	-37.67	42.72
360	-19.83	-6.77	46.81	-69.85	-10.49	-27.08	-2.20	-2.44	14.29	-106.1	107.09

Nilai gaya pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	16.58	-48.70	173.60	116.40	66.71	-25.65	6.11	-5.55	263.00	36.50	265.52
30	21.49	-18.97	9.58	19.17	8.80	4.42	8.27	-2.34	48.14	2.29	48.19
60	8.39	-3.55	0.58	2.09	1.91	1.63	6.55	-1.52	17.43	-1.35	17.48
90	57.66	-5.36	11.88	-10.45	-5.19	-1.99	5.81	-1.73	70.16	-19.54	72.83
120	120.80	80.96	76.39	-33.35	7.41	-41.00	4.26	-2.40	208.86	4.21	208.90
150	2.05	0.21	12.97	-0.58	25.54	-18.45	4.86	-3.23	45.42	-22.05	50.49
180	0.80	-0.40	-0.06	1.33	8.93	-5.77	6.65	-3.66	16.31	-8.49	18.39
210	14.12	-11.40	-10.79	-5.13	71.26	-7.97	6.75	-3.60	81.34	-28.10	86.05
240	68.12	-26.40	14.03	-89.91	144.40	96.12	5.24	-4.06	231.79	-24.25	233.05
270	11.45	-0.37	27.95	-23.61	-4.50	-9.51	6.38	-4.91	41.28	-38.40	56.38
300	-1.95	4.22	9.89	-7.74	-1.50	-5.61	8.85	-5.03	15.28	-14.16	20.83
330	-14.60	-17.06	82.77	-9.83	19.70	-19.16	8.25	-4.65	96.12	-50.69	108.67
360	16.58	-48.70	173.60	116.40	66.71	-25.65	6.11	-5.55	263.00	36.50	265.52

LAMPIRAN IVB.3

Nilai torsi pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-44.29	-12.09	86.51	-128.4	-19.5	-49.40	-3.99	-4.92	18.65	-194.8	195.70
30	-11.69	-12.84	12.57	-6.46	2.96	-6.98	-1.69	-6.09	2.15	-32.37	32.44
60	-2.07	-4.17	0.77	-0.34	1.09	-1.92	-1.15	-4.90	-1.36	-11.34	11.42
90	-3.77	-39.35	-8.22	-8.32	-1.41	3.28	-1.35	-4.22	-14.7	-48.60	50.79
120	56.36	-84.48	-25.5	-56.64	-25.6	-5.80	-1.85	-3.08	3.32	-149.9	150.03
150	-3.18	0.58	-0.09	-9.18	-12.6	-15.44	-2.47	-3.83	-18.3	-27.88	33.37
180	-1.84	-0.27	1.36	-0.84	-3.64	-4.42	-2.67	-5.33	-6.79	-10.86	12.81
210	-8.74	-9.82	-7.52	7.72	-5.81	-50.53	-2.56	-5.07	-24.6	-57.70	62.74
240	-19.70	-49.39	-36.3	-11.00	70.79	-106.9	-3.07	-3.88	11.72	-171.1	171.57
270	0.45	-9.92	-15.7	-17.83	-8.82	4.18	-3.75	-5.19	-27.8	-28.75	40.00
300	3.24	0.00	-5.00	-4.68	-4.97	1.34	-3.75	-7.24	-10.4	-10.58	14.89
330	-8.68	6.30	-7.25	-59.12	-15.6	-14.52	-3.44	-6.57	-34.9	-73.91	81.77
360	-44.29	-12.09	86.51	-128.4	-19.5	-49.40	-3.99	-4.92	18.65	-194.8	195.70

Nilai gaya pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 70 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	29.80	-111.20	320.00	215.50	121.70	-47.88	12.23	-10.00	483.73	46.42	485.95
30	33.23	-31.56	15.99	30.76	18.64	7.23	15.18	-4.21	83.04	2.22	83.07
60	13.77	-6.43	1.12	1.81	3.64	3.60	12.26	-2.86	30.79	-3.88	31.03
90	100.40	-9.85	21.29	-20.75	-8.73	-3.43	10.56	-3.36	123.52	-37.39	129.06
120	210.80	140.70	141.90	-63.78	14.43	-63.28	7.73	-4.63	374.86	9.01	374.97
150	-1.58	-7.89	24.73	-0.14	40.43	-33.58	9.62	-6.19	73.20	-47.80	87.43
180	1.03	-4.86	0.58	4.12	15.20	-10.68	13.33	-6.63	30.14	-18.04	35.13
210	25.25	-22.36	-19.10	-18.17	128.40	-14.98	12.68	-6.40	147.23	-61.91	159.72
240	123.20	-49.06	27.46	-91.97	265.90	176.20	9.76	-7.73	426.32	27.44	427.20
270	26.19	1.21	46.74	-41.87	-10.51	-21.76	12.96	-9.39	75.38	-71.81	104.11
300	-2.14	8.33	17.04	-14.35	-2.81	-13.05	17.99	-9.30	30.08	-28.37	41.35
330	-16.17	-20.60	150.40	-18.14	37.44	-40.15	16.32	-8.61	187.99	-87.50	207.35
360	29.80	-111.20	320.00	215.50	121.70	-47.88	12.23	-10.00	483.73	46.42	485.95

LAMPIRAN IVC.1

Nilai torsi pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-23.56	-2.91	16.95	-25.55	-4.79	-13.16	-0.82	-0.94	-12.22	-42.56	44.28
30	-3.68	-4.13	4.80	-2.10	1.20	-0.94	-0.34	-1.32	1.98	-8.48	8.70
60	-0.46	-2.23	0.97	-0.02	0.13	-0.78	-0.23	-1.00	0.40	-4.04	4.06
90	-0.98	-9.94	-1.53	-1.84	-0.12	1.02	-0.22	-0.94	-2.86	-11.69	12.03
120	15.31	-22.87	-4.92	-12.00	-9.90	-0.44	-0.30	-0.74	0.19	-36.05	36.05
150	3.63	-2.04	0.03	-1.89	-3.14	-4.71	-0.44	-0.71	0.08	-9.35	9.35
180	1.14	-0.03	-0.15	-0.35	-0.76	-2.31	-0.57	-0.86	-0.34	-3.55	3.57
210	-2.02	-2.25	-0.19	1.96	-1.20	-11.17	-0.60	-0.96	-4.02	-12.42	13.05
240	-4.66	-12.12	-17.07	-1.41	15.84	-23.80	-0.63	-0.83	-6.52	-38.16	38.71
270	-0.15	-1.03	-3.48	-4.85	1.47	-0.59	-0.74	-0.87	-2.91	-7.33	7.89
300	0.15	0.31	-1.04	-2.47	-0.10	0.22	-0.80	-1.03	-1.79	-2.96	3.46
330	-2.58	2.15	-1.54	-12.68	-2.69	-2.91	-0.76	-1.08	-7.57	-14.53	16.38
360	-23.56	-2.91	16.95	-25.55	-4.79	-13.16	-0.82	-0.94	-12.22	-42.56	44.28

Nilai gaya pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	7.15	-59.03	63.70	42.27	33.65	-12.29	2.43	-2.03	106.93	-31.08	111.35
30	10.94	-9.81	5.34	12.10	2.57	2.60	3.29	-0.83	22.14	4.06	22.50
60	5.52	-1.23	0.06	2.46	1.52	0.49	2.52	-0.54	9.62	1.18	9.69
90	23.99	-2.53	4.55	-3.76	-2.26	-0.13	2.35	-0.54	28.63	-6.96	29.47
120	57.02	38.16	29.97	-12.23	0.93	-24.32	1.88	-0.75	89.81	0.86	89.81
150	5.14	9.04	4.98	-0.27	12.61	-8.40	1.83	-1.11	24.56	-0.74	24.57
180	0.07	2.83	0.46	-0.18	5.59	-1.95	2.22	-1.43	8.35	-0.73	8.38
210	5.59	-4.98	-4.53	-0.23	26.91	-3.04	2.46	-1.51	30.42	-9.75	31.95
240	30.44	-11.64	3.34	-42.99	59.37	39.53	2.15	-1.58	95.31	-16.68	96.75
270	2.81	-0.75	12.99	-9.13	1.48	3.61	2.24	-1.89	19.52	-8.16	21.16
300	-1.17	0.58	5.88	-2.61	-0.53	-0.33	2.62	-2.01	6.80	-4.38	8.09
330	-4.77	-6.02	30.50	-3.91	7.32	-6.71	2.76	-1.88	35.81	-18.52	40.31
360	7.15	-59.03	63.70	42.27	33.65	-12.29	2.43	-2.03	106.93	-31.08	111.35

LAMPIRAN IVC.2

Nilai torsi pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-18.70	-6.55	39.92	-59.93	-12.33	-30.83	-2.10	-2.21	6.79	-99.53	99.76
30	-7.33	-7.60	9.17	-4.31	2.22	-3.56	-0.78	-3.18	3.28	-18.65	18.93
60	-1.25	-4.51	1.08	-0.32	0.74	-2.01	-0.55	-2.51	0.01	-9.35	9.35
90	-2.24	-20.80	-4.61	-4.41	-0.13	1.68	-0.59	-2.28	-7.57	-25.81	26.89
120	31.52	-46.74	-13.46	-30.45	-17.44	-2.18	-0.81	-1.70	-0.19	-81.07	81.07
150	3.43	-2.69	0.38	-5.29	-6.88	-8.96	-1.16	-1.80	-4.23	-18.74	19.22
180	-1.04	0.21	-4.90	-0.80	-2.39	0.00	-1.38	-2.39	-9.71	-2.98	10.16
210	0.84	-0.49	0.49	-1.04	-2.04	-4.90	-1.38	-2.39	-2.09	-8.82	9.07
240	-10.99	-27.40	-36.19	-5.05	33.96	-50.96	-1.44	-2.07	-14.66	-85.48	86.73
270	0.32	-3.96	-8.82	-9.70	-1.64	0.68	-1.76	-2.29	-11.90	-15.28	19.36
300	1.46	-0.13	-2.90	-5.64	-1.30	0.34	-1.91	-3.11	-4.66	-8.54	9.72
330	-6.80	5.30	-4.01	-29.49	-6.61	-6.37	-1.79	-2.99	-19.21	-33.55	38.66
360	-18.70	-6.55	39.92	-59.93	-12.33	-30.83	-2.10	-2.21	6.79	-99.53	99.76

Nilai gaya pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	15.55	-46.32	149.20	99.48	78.21	-31.26	5.70	-5.28	248.66	16.62	249.21
30	19.98	-19.47	10.93	23.14	9.51	4.91	7.96	-1.92	48.37	6.66	48.83
60	10.78	-3.29	0.76	2.70	3.95	2.07	6.30	-1.33	21.79	0.15	21.79
90	50.17	-5.77	10.99	-11.35	-3.70	0.04	5.72	-1.45	63.19	-18.52	65.85
120	116.50	78.61	76.08	-33.49	5.39	-43.14	4.31	-2.03	202.28	-0.05	202.28
150	6.76	8.49	13.92	0.41	23.89	-18.08	4.61	-2.93	49.17	-12.11	50.64
180	1.58	-0.22	-5.21	0.00	-3.46	0.02	6.10	-3.46	-0.99	-3.66	3.79
210	1.14	1.91	1.59	1.58	11.37	-5.21	6.10	-3.46	20.19	-5.17	20.84
240	69.00	-27.54	12.41	-91.09	127.10	84.80	5.32	-3.67	213.83	-37.50	217.09
270	10.30	0.10	25.84	-23.12	-1.73	-4.27	5.91	-4.48	40.32	-31.77	51.33
300	-0.85	3.91	12.84	-7.21	-0.87	-3.61	7.86	-4.75	18.97	-11.67	22.27
330	-12.36	-16.01	70.92	-10.18	16.01	-16.49	7.55	-4.43	82.12	-47.11	94.67
360	15.55	-46.32	149.20	99.48	78.21	-31.26	5.70	-5.28	248.66	16.62	249.21

LAMPIRAN IVC.3

Nilai torsi pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-45.33	-11.29	75.53	-113.6	-22.70	-55.23	-3.83	-4.39	3.67	-184.5	184.55
30	-12.18	-11.79	14.97	-7.35	3.57	-7.44	-1.41	-5.84	4.95	-32.42	32.79
60	-2.40	-7.63	1.17	-0.68	1.64	-3.76	-1.03	-4.69	-0.62	-16.75	16.76
90	-4.03	-35.83	-8.85	-7.85	-0.14	2.55	-1.14	-4.15	-14.1	-45.29	47.45
120	53.86	-79.99	-25.7	-56.84	-28.66	-4.65	-1.58	-3.06	-2.17	-144.5	144.56
150	2.31	-2.82	0.78	-10.05	-12.62	-14.47	-2.24	-3.49	-11.7	-30.83	33.00
180	-0.20	-1.03	1.54	-2.22	-3.94	-8.62	-2.49	-4.74	-5.10	-16.61	17.37
210	-9.01	-8.98	-5.60	6.74	-5.81	-44.38	-2.41	-4.83	-22.8	-51.45	56.28
240	-19.95	-48.68	-41.8	-10.08	60.36	-91.04	-2.75	-3.78	-4.17	-153.5	153.64
270	1.03	-8.70	-15.7	-16.22	-6.86	3.31	-3.40	-4.61	-24.9	-26.22	36.19
300	2.97	-1.00	-5.62	-9.89	-3.78	0.64	-3.49	-6.19	-9.92	-16.45	19.21
330	-7.66	6.25	-7.61	-54.12	-13.36	-12.02	-3.29	-5.75	-31.9	-65.64	72.99
360	-45.33	-11.29	75.53	-113.6	-22.70	-55.23	-3.83	-4.39	3.67	-184.5	184.55

Nilai gaya pada *Diffuser* Model IV, Jarak peletakan turbin 80 cm, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	27.53	-112.80	282.40	188.00	139.50	-57.31	11.22	-9.70	460.65	8.19	460.72
30	30.86	-32.20	18.64	37.80	19.76	7.92	14.59	-3.47	83.85	10.05	84.45
60	17.95	-6.23	1.60	2.85	7.43	4.38	11.76	-2.48	38.73	-1.49	38.76
90	86.37	-10.37	19.61	-21.85	-5.72	0.21	10.42	-2.82	110.68	-34.83	116.03
120	199.40	134.40	142.10	-64.24	11.70	-70.95	7.74	-3.97	360.94	-4.76	360.97
150	7.06	5.61	26.48	1.18	38.56	-33.16	8.89	-5.63	80.99	-32.00	87.08
180	2.31	-0.94	3.69	4.39	19.63	-9.97	12.04	-6.17	37.67	-12.69	39.75
210	22.38	-22.22	-15.57	-13.03	106.50	-14.69	12.25	-6.01	125.56	-55.95	137.46
240	122.70	-50.06	25.11	-104.60	227.00	150.70	9.70	-6.99	384.51	-10.95	384.67
270	22.34	1.35	43.29	-41.38	-8.40	-17.47	11.82	-8.62	69.05	-66.12	95.60
300	-0.13	7.55	22.18	-13.99	-1.65	-10.23	15.71	-8.66	36.11	-25.33	44.10
330	-14.80	-17.85	130.00	-19.34	30.23	-33.35	14.52	-8.21	159.95	-78.75	178.28
360	27.53	-112.80	282.40	188.00	139.50	-57.31	11.22	-9.70	460.65	8.19	460.72

LAMPIRAN VA.1

Nilai torsi tanpa *Diffuser*, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-20.07	-3.75	-2.75	-9.27	20.37	-30.28	-0.99	-1.03	-3.44	-44.33	44.46
30	-3.93	-4.44	0.84	-0.90	3.51	-1.70	-0.50	-1.47	-0.08	-8.51	8.51
60	-0.53	-2.80	0.26	-0.45	0.62	0.08	-0.27	-1.11	0.07	-4.28	4.28
90	-1.00	-12.43	-0.87	0.97	-1.57	-1.78	-0.30	-0.99	-3.75	-14.23	14.71
120	15.77	-23.86	-9.87	-1.13	-4.84	-12.38	-0.42	-0.73	0.65	-38.10	38.10
150	0.34	-0.46	-3.38	-4.92	-0.37	-1.74	-0.58	-0.72	-4.00	-7.84	8.80
180	0.10	-0.01	-0.90	-3.02	0.08	0.14	-0.67	-0.94	-1.38	-3.83	4.07
210	-2.09	-2.36	-1.37	-14.43	0.03	1.86	-0.66	-0.99	-4.08	-15.92	16.43
240	-3.92	-11.29	17.93	-26.89	-20.28	-1.83	-0.71	-0.79	-6.98	-40.80	41.39
270	-0.44	-0.95	-0.79	0.42	-3.95	-5.25	-0.87	-0.88	-6.05	-6.67	9.00
300	0.58	0.61	-0.93	0.39	-1.20	-3.24	-0.87	-1.19	-2.42	-3.42	4.19
330	-3.27	2.40	-3.39	-3.22	-1.69	-15.92	-0.82	-1.24	-9.17	-17.99	20.19
360	-20.07	-3.75	-2.75	-9.27	20.37	-30.28	-0.99	-1.03	-3.44	-44.33	44.46

Nilai gaya tanpa *Diffuser*, Kecepatan aliran 0.5 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	4.19	-38.66	53.97	36.39	28.22	-10.94	2.15	-1.04	88.53	-14.25	89.67
30	5.90	-3.76	2.43	6.11	0.47	1.48	3.06	-0.29	11.86	3.54	12.38
60	3.19	-0.66	0.12	1.59	1.04	-0.02	2.30	-0.28	6.65	0.64	6.68
90	15.57	-2.77	6.56	-7.63	-1.22	1.90	2.28	-0.16	23.19	-8.67	24.75
120	56.26	38.44	31.21	-13.95	-1.40	-19.98	1.66	-0.28	87.73	4.23	87.83
150	4.18	6.88	2.57	-0.94	7.66	-2.78	1.49	-0.69	15.89	2.47	16.08
180	0.27	2.69	0.63	-0.47	3.01	-0.86	1.76	-1.02	5.66	0.35	5.67
210	6.41	-7.84	-3.33	0.26	16.15	-2.76	2.10	-1.09	21.32	-11.44	24.20
240	28.42	-12.41	2.00	-36.97	55.09	37.20	1.91	-0.95	87.42	-13.13	88.40
270	1.28	-1.01	7.79	-3.50	3.14	6.47	1.94	-1.13	14.15	0.82	14.17
300	-0.25	0.36	2.87	-1.02	0.12	1.08	2.09	-1.24	4.84	-0.81	4.90
330	-5.30	-6.38	15.92	-2.78	6.68	-7.94	2.31	-1.17	19.61	-18.27	26.80
360	4.19	-38.66	53.97	36.39	28.22	-10.94	2.15	-1.04	88.53	-14.25	89.67

LAMPIRAN VA.2

Nilai torsi tanpa *Diffuser*, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-20.07	-3.75	-2.75	-9.27	20.37	-30.28	-0.99	-1.03	-3.44	-44.33	44.46
30	-3.93	-4.44	0.84	-0.90	3.51	-1.70	-0.50	-1.47	-0.08	-8.51	8.51
60	-0.53	-2.80	0.26	-0.45	0.62	0.08	-0.27	-1.11	0.07	-4.28	4.28
90	-1.00	-12.43	-0.87	0.97	-1.57	-1.78	-0.30	-0.99	-3.75	-14.23	14.71
120	15.77	-23.86	-9.87	-1.13	-4.84	-12.38	-0.42	-0.73	0.65	-38.10	38.10
150	0.34	-0.46	-3.38	-4.92	-0.37	-1.74	-0.58	-0.72	-4.00	-7.84	8.80
180	0.10	-0.01	-0.90	-3.02	0.08	0.14	-0.67	-0.94	-1.38	-3.83	4.07
210	-2.09	-2.36	-1.37	-14.43	0.03	1.86	-0.66	-0.99	-4.08	-15.92	16.43
240	-3.92	-11.29	17.93	-26.89	-20.28	-1.83	-0.71	-0.79	-6.98	-40.80	41.39
270	-0.44	-0.95	-0.79	0.42	-3.95	-5.25	-0.87	-0.88	-6.05	-6.67	9.00
300	0.58	0.61	-0.93	0.39	-1.20	-3.24	-0.87	-1.19	-2.42	-3.42	4.19
330	-3.27	2.40	-3.39	-3.22	-1.69	-15.92	-0.82	-1.24	-9.17	-17.99	20.19
360	-20.07	-3.75	-2.75	-9.27	20.37	-30.28	-0.99	-1.03	-3.44	-44.33	44.46

Nilai gaya tanpa *Diffuser*, Kecepatan aliran 0.8 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	6.22	-43.33	110.60	74.46	48.09	-20.83	4.82	-1.68	169.73	8.62	169.94
30	10.17	-7.24	5.84	11.90	3.94	3.10	7.39	-0.65	27.34	7.11	28.25
60	6.13	-1.71	0.74	2.12	2.30	0.78	5.86	-0.59	15.03	0.60	15.04
90	31.78	-5.60	14.26	-18.01	-0.36	5.69	5.54	-0.32	51.22	-18.24	54.37
120	113.80	77.27	73.92	-34.19	-1.31	-37.25	3.65	-0.73	190.06	5.10	190.13
150	8.43	10.41	7.94	-0.58	13.86	-6.30	3.35	-1.77	33.58	1.76	33.62
180	1.72	3.22	1.63	0.46	5.86	-2.20	4.44	-2.29	13.64	-0.80	13.67
210	14.36	-18.06	-5.63	-1.48	31.94	-5.62	5.45	-1.98	46.13	-27.14	53.52
240	59.69	-27.09	7.96	-49.45	111.10	74.85	4.79	-1.67	183.54	-3.36	183.57
270	3.86	-0.77	14.79	-8.54	7.60	10.57	4.39	-2.01	30.64	-0.76	30.65
300	0.32	2.31	5.67	-2.22	1.02	2.26	4.74	-2.21	11.75	0.14	11.75
330	-8.26	-7.27	31.58	-5.62	12.39	-16.17	5.36	-1.85	41.07	-30.91	51.40
360	6.22	-43.33	110.60	74.46	48.09	-20.83	4.82	-1.68	169.73	8.62	169.94

LAMPIRAN VA.3

Nilai torsi tanpa *Diffuser*, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Torsi Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	-20.07	-3.75	-2.75	-9.27	20.37	-30.28	-0.99	-1.03	-3.44	-44.33	44.46
30	-3.93	-4.44	0.84	-0.90	3.51	-1.70	-0.50	-1.47	-0.08	-8.51	8.51
60	-0.53	-2.80	0.26	-0.45	0.62	0.08	-0.27	-1.11	0.07	-4.28	4.28
90	-1.00	-12.43	-0.87	0.97	-1.57	-1.78	-0.30	-0.99	-3.75	-14.23	14.71
120	15.77	-23.86	-9.87	-1.13	-4.84	-12.38	-0.42	-0.73	0.65	-38.10	38.10
150	0.34	-0.46	-3.38	-4.92	-0.37	-1.74	-0.58	-0.72	-4.00	-7.84	8.80
180	0.10	-0.01	-0.90	-3.02	0.08	0.14	-0.67	-0.94	-1.38	-3.83	4.07
210	-2.09	-2.36	-1.37	-14.43	0.03	1.86	-0.66	-0.99	-4.08	-15.92	16.43
240	-3.92	-11.29	17.93	-26.89	-20.28	-1.83	-0.71	-0.79	-6.98	-40.80	41.39
270	-0.44	-0.95	-0.79	0.42	-3.95	-5.25	-0.87	-0.88	-6.05	-6.67	9.00
300	0.58	0.61	-0.93	0.39	-1.20	-3.24	-0.87	-1.19	-2.42	-3.42	4.19
330	-3.27	2.40	-3.39	-3.22	-1.69	-15.92	-0.82	-1.24	-9.17	-17.99	20.19
360	-20.07	-3.75	-2.75	-9.27	20.37	-30.28	-0.99	-1.03	-3.44	-44.33	44.46

Nilai gaya tanpa *Diffuser*, Kecepatan aliran 1.1 m/s

Azimuth	Blade 1		Blade 2		Blade 3		Shaft		Gaya Total		Resultan
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	
0	13.09	-87.00	190.20	127.10	81.46	-36.91	8.84	-2.34	293.59	0.85	293.59
30	15.61	-11.83	10.60	19.72	9.33	5.21	13.57	-1.14	49.11	11.97	50.54
60	9.94	-3.22	1.55	2.92	3.96	1.98	11.02	-1.00	26.46	0.68	26.47
90	53.65	-9.37	23.62	-30.98	1.17	10.85	10.12	-0.50	88.56	-30.00	93.50
120	193.40	129.90	131.60	-61.67	-0.20	-65.40	6.23	-1.36	331.03	1.48	331.03
150	14.15	15.03	15.44	-0.22	21.92	-12.72	5.85	-3.19	57.36	-1.10	57.37
180	3.70	3.51	3.10	1.88	9.69	-4.03	8.34	-3.74	24.83	-2.37	24.94
210	25.41	-32.74	-8.16	-5.08	53.23	-9.43	10.53	-2.97	81.01	-50.22	95.31
240	102.20	-47.46	14.87	-43.02	189.40	126.60	8.73	-2.39	315.20	33.73	317.00
270	7.67	-0.42	23.98	-14.45	13.45	15.49	7.38	-2.95	52.48	-2.33	52.54
300	1.73	3.75	9.61	-3.96	2.73	2.93	8.39	-3.41	22.46	-0.68	22.47
330	-8.23	-5.09	52.70	-9.41	22.40	-29.81	10.01	-2.72	76.88	-47.02	90.12
360	13.09	-87.00	190.20	127.10	81.46	-36.91	8.84	-2.34	293.59	0.85	293.59

LAMPIRAN VIIA.1

Kecepatan aliran pada kecepatan aliran masuk 0.5 m/s

Posisi	Model I			Model II		
	u1	u2	u3	u1	u2	u3
-2	0.51	0.50	0.49	0.51	0.50	0.49
-1.8	0.53	0.51	0.48	0.52	0.51	0.49
-1.6	0.55	0.52	0.47	0.54	0.51	0.47
-1.5	0.57	0.53	0.46	0.56	0.52	0.47
-1.4	0.60	0.55	0.46	0.59	0.54	0.46
-1.3	0.65	0.58	0.46	0.62	0.57	0.46
-1.2	0.70	0.64	0.48	0.67	0.62	0.48
-1.1	0.78	0.73	0.53	0.73	0.70	0.54
-1	0.87	0.91	0.14	0.80	0.83	0.38
-0.9	0.96	1.08		0.87	1.01	
-0.8	1.04	1.02		0.92	0.94	
-0.7	1.08	0.53		0.96	0.74	
-0.6	1.11	0.40		0.99	0.63	
-0.5	1.12	0.26		1.00	0.56	
-0.4	1.14	0.23	0.03	1.02	0.55	0.05
-0.3	1.15	0.28	0.16	1.03	0.58	0.07
-0.2	1.15	0.40	0.18	1.04	0.61	0.10
-0.1	1.15	0.49	0.24	1.04	0.64	0.13
0	1.15	0.55	0.27	1.05	0.67	0.13
0.1	1.15	0.63	0.26	1.05	0.69	0.13
0.2	1.14	0.67	0.25	1.05	0.68	0.14
0.3	1.14	0.70	0.25	1.05	0.71	0.14
0.4	1.14	0.74	0.27	1.04	0.71	0.15
0.6	1.13	0.79	0.33	1.04	0.74	0.19
0.8	1.12	0.83	0.40	1.03	0.76	0.22

Posisi	Model III			Model IV		
	u1	u2	u3	u1	u2	u3
-2	0.51	0.50	0.49	0.51	0.50	0.50
-1.8	0.52	0.50	0.49	0.52	0.50	0.49
-1.6	0.54	0.51	0.48	0.53	0.51	0.48
-1.5	0.55	0.52	0.47	0.54	0.52	0.48
-1.4	0.57	0.53	0.47	0.56	0.53	0.47
-1.3	0.60	0.56	0.47	0.58	0.55	0.48
-1.2	0.64	0.60	0.49	0.61	0.58	0.49
-1.1	0.68	0.66	0.54	0.65	0.63	0.54
-1	0.74	0.76	0.62	0.69	0.70	0.68
-0.9	0.79	0.87		0.73	0.78	
-0.8	0.84	0.95		0.77	0.84	
-0.7	0.87	0.95		0.80	0.87	
-0.6	0.90	0.91		0.82	0.87	
-0.5	0.92	0.88		0.83	0.87	
-0.4	0.93	0.85	0.09	0.85	0.87	0.11
-0.3	0.94	0.83	0.11	0.86	0.85	0.13
-0.2	0.95	0.81	0.15	0.87	0.83	0.16
-0.1	0.96	0.81	0.18	0.87	0.79	0.20
0	0.96	0.77	0.19	0.88	0.81	0.24
0.1	0.96	0.81	0.22	0.88	0.81	0.27
0.2	0.96	0.83	0.25	0.88	0.80	0.30
0.3	0.96	0.82	0.30	0.88	0.80	0.35
0.4	0.96	0.81	0.34	0.88	0.81	0.38
0.6	0.95	0.83	0.43	0.87	0.80	0.45

LAMPIRAN VIIA.2

Kecepatan aliran pada kecepatan aliran masuk 0.8 m/s

Posisi	Model I			Model II		
	u1	u2	u3	u1	u2	u3
-2	0.82	0.80	0.79	0.82	0.80	0.79
-1.8	0.84	0.81	0.77	0.83	0.81	0.78
-1.6	0.88	0.83	0.75	0.87	0.82	0.76
-1.5	0.92	0.84	0.74	0.90	0.84	0.75
-1.4	0.97	0.87	0.73	0.94	0.86	0.74
-1.3	1.03	0.93	0.73	1.00	0.91	0.74
-1.2	1.12	1.02	0.77	1.07	0.99	0.77
-1.1	1.24	1.17	0.85	1.17	1.12	0.87
-1	1.38	1.45	0.22	1.27	1.33	0.60
-0.9	1.53	1.73		1.38	1.61	
-0.8	1.65	1.63		1.48	1.51	
-0.7	1.73	0.85		1.54	1.18	
-0.6	1.77	0.65		1.58	1.00	
-0.5	1.80	0.45		1.60	0.90	
-0.4	1.81	0.48	0.06	1.63	0.88	0.07
-0.3	1.83	0.57	0.26	1.64	0.93	0.10
-0.2	1.83	0.71	0.25	1.66	0.98	0.17
-0.1	1.84	0.85	0.28	1.67	1.03	0.21
0	1.84	0.94	0.31	1.67	1.07	0.21
0.1	1.84	1.03	0.33	1.67	1.10	0.21
0.2	1.84	1.08	0.34	1.68	1.09	0.22
0.3	1.84	1.13	0.36	1.68	1.14	0.23
0.4	1.84	1.16	0.38	1.67	1.14	0.25
0.6	1.84	1.22	0.44	1.66	1.18	0.30
0.8	1.82	1.26	0.48	1.64	1.21	0.35

Posisi	Model III			Model IV		
	u1	u2	u3	u1	u2	u3
-2	0.81	0.80	0.79	0.81	0.80	0.79
-1.8	0.83	0.81	0.78	0.82	0.81	0.78
-1.6	0.86	0.82	0.76	0.85	0.82	0.77
-1.5	0.88	0.83	0.75	0.87	0.83	0.76
-1.4	0.92	0.85	0.75	0.89	0.85	0.76
-1.3	0.96	0.89	0.75	0.93	0.88	0.76
-1.2	1.02	0.96	0.78	0.98	0.93	0.78
-1.1	1.09	1.06	0.87	1.03	1.01	0.87
-1	1.18	1.21	0.99	1.10	1.12	1.08
-0.9	1.26	1.39		1.17	1.24	
-0.8	1.34	1.51		1.23	1.34	
-0.7	1.40	1.52		1.27	1.38	
-0.6	1.44	1.46		1.31	1.39	
-0.5	1.47	1.40		1.33	1.39	
-0.4	1.49	1.36	0.14	1.35	1.39	0.10
-0.3	1.51	1.31	0.18	1.37	1.37	0.15
-0.2	1.52	1.29	0.24	1.39	1.33	0.26
-0.1	1.54	1.29	0.30	1.40	1.26	0.34
0	1.54	1.22	0.31	1.40	1.29	0.39
0.1	1.54	1.28	0.34	1.41	1.29	0.42
0.2	1.54	1.31	0.38	1.41	1.28	0.48
0.3	1.54	1.30	0.44	1.40	1.28	0.56
0.4	1.53	1.27	0.52	1.40	1.30	0.61
0.6	1.52	1.32	0.66	1.39	1.28	0.73
0.8	1.50	1.34	0.76	1.37	1.28	0.82

LAMPIRAN VIIA.3

Kecepatan aliran pada kecepatan aliran masuk 1.1 m/s

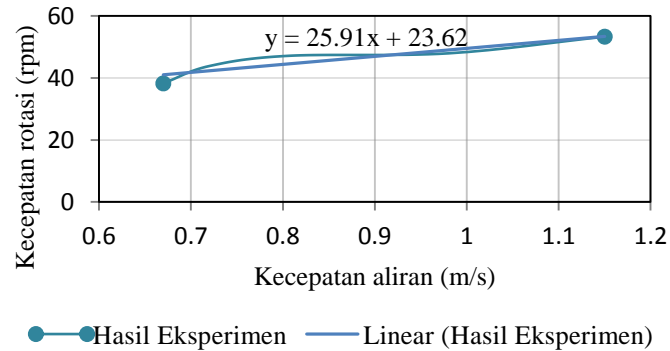
Posisi	Model I			Model II		
	u1	u2	u3	u1	u2	u3
-2	1.13	1.11	1.08	1.12	1.11	1.09
-1.8	1.16	1.11	1.06	1.15	1.11	1.07
-1.6	1.21	1.14	1.03	1.20	1.13	1.04
-1.5	1.26	1.16	1.01	1.24	1.15	1.02
-1.4	1.33	1.20	1.00	1.29	1.19	1.01
-1.3	1.42	1.28	1.01	1.37	1.25	1.02
-1.2	1.54	1.40	1.06	1.47	1.36	1.06
-1.1	1.71	1.61	1.17	1.60	1.54	1.19
-1	1.90	1.99	0.30	1.75	1.83	0.83
-0.9	2.11	2.38		1.90	2.21	
-0.8	2.27	2.24		2.03	2.08	
-0.7	2.37	1.17		2.12	1.63	
-0.6	2.43	0.89		2.17	1.38	
-0.5	2.47	0.63		2.21	1.24	
-0.4	2.49	0.67	0.07	2.24	1.22	0.09
-0.3	2.51	0.80	0.34	2.26	1.28	0.14
-0.2	2.52	0.97	0.34	2.28	1.35	0.24
-0.1	2.53	1.16	0.38	2.29	1.41	0.28
0	2.53	1.29	0.42	2.30	1.47	0.29
0.1	2.53	1.42	0.44	2.30	1.51	0.29
0.2	2.53	1.48	0.47	2.31	1.51	0.30
0.3	2.53	1.54	0.49	2.31	1.57	0.31
0.4	2.53	1.59	0.52	2.29	1.57	0.34
0.6	2.52	1.67	0.60	2.28	1.62	0.41
0.8	2.50	1.73	0.65	2.26	1.66	0.48

Posisi	Model III			Model IV		
	u1	u2	u3	u1	u2	u3
-2	1.12	1.11	1.09	1.12	1.10	1.09
-1.8	1.14	1.11	1.07	1.13	1.11	1.08
-1.6	1.18	1.13	1.05	1.17	1.12	1.06
-1.5	1.21	1.14	1.04	1.19	1.14	1.05
-1.4	1.26	1.17	1.03	1.23	1.16	1.04
-1.3	1.32	1.23	1.03	1.28	1.20	1.04
-1.2	1.40	1.32	1.07	1.34	1.27	1.08
-1.1	1.50	1.45	1.20	1.42	1.38	1.19
-1	1.62	1.66	1.37	1.51	1.54	1.49
-0.9	1.74	1.91		1.60	1.71	
-0.8	1.84	2.08		1.69	1.84	
-0.7	1.92	2.08		1.75	1.90	
-0.6	1.98	2.00		1.80	1.92	
-0.5	2.01	1.92		1.83	1.91	
-0.4	2.04	1.85	0.19	1.86	1.91	0.16
-0.3	2.07	1.78	0.23	1.88	1.88	0.20
-0.2	2.09	1.75	0.33	1.90	1.84	0.36
-0.1	2.11	1.76	0.41	1.92	1.73	0.46
0	2.12	1.67	0.42	1.93	1.78	0.54
0.1	2.12	1.76	0.47	1.93	1.77	0.58
0.2	2.12	1.80	0.52	1.93	1.76	0.66
0.3	2.12	1.79	0.60	1.93	1.77	0.77
0.4	2.11	1.74	0.70	1.92	1.78	0.84
0.6	2.10	1.81	0.89	1.91	1.76	1.00
0.8	2.07	1.84	1.02	1.88	1.76	1.12

LAMPIRAN VIII

Hubungan kecepatan aliran dengan kecepatan rotasi turbin pada penelitian sebelumnya (Gunawan, dkk., 2014)

No	Kecepatan aliran (m/s)	Kecepatan rotasi rubin (rpm)
1	0.67	38.18
2	0.72	43.79
3	0.806	47.09
4	0.96	47.89
5	1.15	53.26



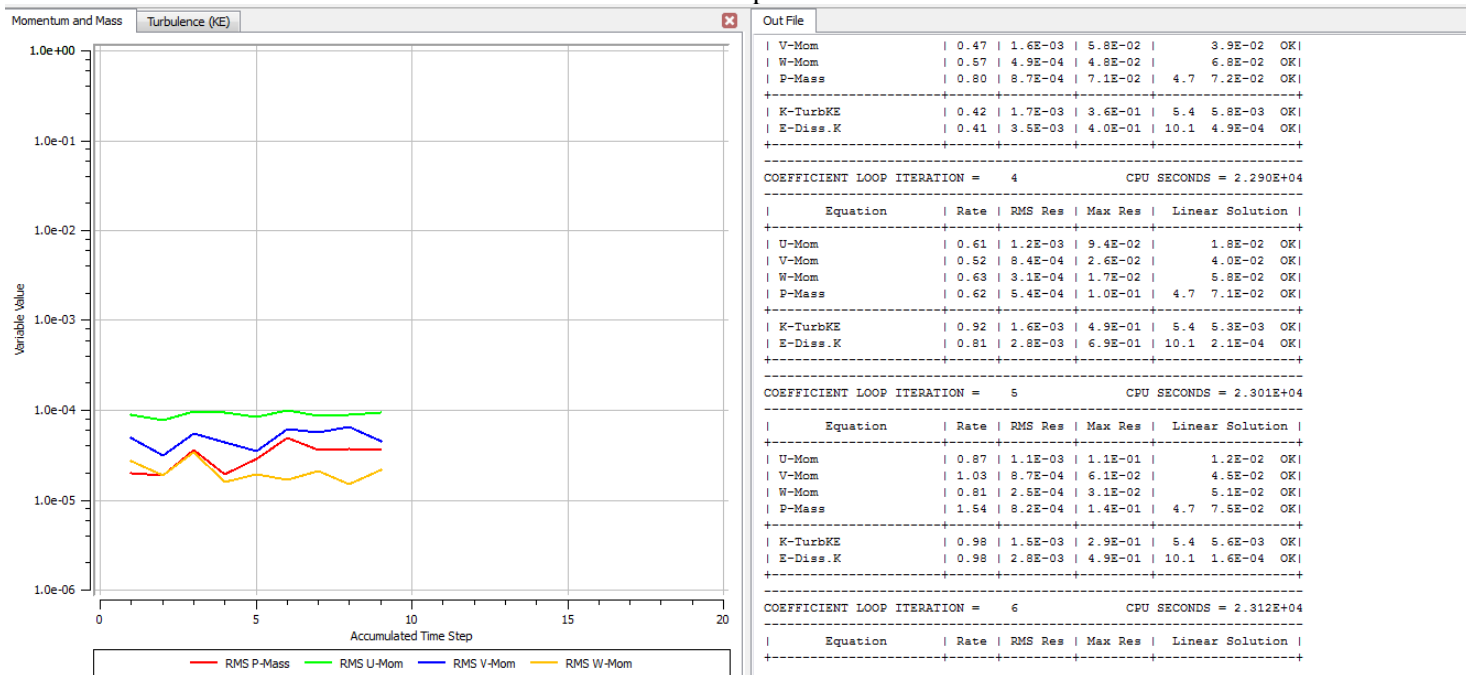
Grafik hubungan kecepatan aliran dengan kecepatan rotasi turbin hasil ekstrapolasi

Hubungan kecepatan aliran dengan kecepatan rotasi turbin pada peneltian tugas akhir

No	Kecepatan arus air (m/s)	Kecepatan rotasi rubin (rpm)
1	0.5	36.579
2	0.8	55.352
3	1.1	52.125

LAMPIRAN IX

Proses Iterasi pada Solver



BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kabupaten Trenggalek 16 September 1992. Pendidikan ditempuh di SD Negeri 1 Tasikmadu, SMP Negeri 1 Watulimo, SMA Negeri 1 Gondang Tulungagung dan pendidikan Sarjana pada Jurusan Teknik Fisika ITS dengan bidang minat Rekayasa Energi Terbarukan serta Instrumentasi dan Kontrol. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam beberapa organisasi kemahasiswaan antara lain BEM ITS, Himpunan Mahasiswa Islam serta menjadi kontributor pada majalah kampus Vivat Press. Selain aktif dalam organisasi kemahasiswaan, penulis juga aktif dalam kegiatan akademik sebagai asisten Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan.

Pengalaman *internship* yang dimiliki penulis dilakukan di *Department Industrial Plant* PT Wijaya Karya (Persero). Pada program *internship* tersebut penulis melakukan analisa *safety* pada *High Integrity Pressure Protection System* (HIPPS) Wellsite Area 6 Proyek Sumpal Compression – Conocophillips Ltd. Penulis dapat dihubungi melalui surat elektronik elfayasa@gmail.com